ENGENHARIA, GESTÃO E INOVAÇÃO

ORGANIZADORES
ALINE MARA OLIVEIRA
OSVALDO SENA GUIMARÃES

VOLUME 21

Editora Poisson

Aline Mara Oliveira
Osvaldo Sena Guimarães
(Organizadores)

Engenharia, Gestão e Inovação
Volume 21

1ª Edição

Belo Horizonte
Editora Poisson
2025

Editor Chefe: Dr. Darly Fernando Andrade

Conselho Editorial
Dr. Antônio Artur de Souza – Universidade Federal de Minas Gerais
MSc. Davilson Eduardo Andrade
Dra. Elizângela de Jesus Oliveira – Universidade Federal do Amazonas
MSc. Fabiane dos Santos
Dr. José Eduardo Ferreira Lopes – Universidade Federal de Uberlândia
Dr. Otaviano Francisco Neves – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Dr. Luiz Cláudio de Lima – Universidade FUMEC
Dr. Nelson Ferreira Filho – Faculdades Kennedy
MSc. Valdiney Alves de Oliveira – Universidade Federal de Uberlândia

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57

Engenharia, Gestão e Inovação – Volume 21/ Organizadores:Aline Mara Oliveira,Osvaldo Sena Guimarães – Belo Horizonte - MG: Editora Poisson, 2025

Formato: PDF
ISBN: 978-65-5866-547-2
DOI: 10.36229/978-65-5866-547-2

Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia

1. Engenharia 2. Educação. I. OLIVEIRA, Aline Mara II. GUIMARÃES,Osvaldo Sena III. Título.

CDD-620

Sônia Márcia Soares de Moura – CRB 6/1896

O conteúdo deste livro está licenciado sob a Licença de Atribuição Creative Commons 4.0.
Com ela é permitido compartilhar o livro, devendo ser dado o devido crédito, não podendo ser utilizado para fins comerciais e nem ser alterado.

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

Esse e outros títulos podem ser baixados gratuitamente em www.poisson.com.br
Entre em contato pelo contato@poisson.com.br

SUMÁRIO

Capítulo 1: Peritagem jurídica naval 06

Ana Clara Braga da Motta, Antonio Eduardo Assis Amorim, Evandro Tozzi Mendonça, Mariana Nascimento Talier, Sérgio Lukine, José Antonio Galvão de Barros Caseiro, Vinícius Marmontel Soares da Silva

DOI: 10.36229/978-65-5866-547-2.CAP.01

Capítulo 2: Contribuição das energias solar e eólica para a transição energética..... 16

Mário Augusto Lopes de Almeida

DOI: 10.36229/978-65-5866-547-2.CAP.02

Capítulo 3: Produção sustentável de ésteres de solketila por hidroesterificação enzimática do óleo de fritura em meio isento de solventes orgânicos..... 39

Nalanda Ribeiro Mendes de Melo, Kiara Faria de Assis, José Miguel Júnior, Luiz Fernando Gorup, Adriano Aguiar Mendes

DOI: 10.36229/978-65-5866-547-2.CAP.03

Capítulo 4: Estudo da utilização e combinação de diferentes antioxidantes em polipropileno - avaliação comparativa das propriedades mecânicas após envelhecimento térmico..... 50

Ariene Ifanger Castelani, Leandro José dos Santos

DOI: 10.36229/978-65-5866-547-2.CAP.04

Capítulo 5: Indústria 5.0 – novos paradigmas e desafios para a indústria têxtil 67

Maria Renata Moraes, Thiago Expedito do Nascimento Makoski, Celise Röder, Alessandra Brandani Biggi

DOI: 10.36229/978-65-5866-547-2.CAP.05

Capítulo 6: Estudo de caso: avaliação da qualidade da água em diferentes estações do ano..... 86

Iran Roberto Macedo da Silva, José Glênio Medeiros de Barros, Nilo Antonio de Souza Sampaio

DOI: 10.36229/978-65-5866-547-2.CAP.06

Capítulo 7: Desenvolvimento científico acerca da caracterização morfométrica de riachos urbanos..... 93

Silvio Pereira Neto, Lucas Otávio Lourenço Lima, Miriam Cleide Cavalcante de Amorim, Fernanda Águida Sousa de Deus, João Pedro de Brito Matias

DOI: 10.36229/978-65-5866-547-2.CAP.07

SUMÁRIO

Capítulo 8: Utilização do Teste t Pareado para 2 amostras para comparar um determinado tipo de tratamento no pH em 10 pontos de um rio 103

Nickolas Maia Faria, Andressa Donadio Delbons, Hugo Pimentel Tavares, Maria da Glória Diniz de Almeida, Nilo Antonio de Souza Sampaio

DOI: 10.36229/978-65-5866-547-2.CAP.08

Capítulo 9: Utilização do Teste t para 2 amostras para comparar um determinado tipo de tratamento de despoluição 111

Luan Silva Gomes da Costa, Celso Marlei dos Santos, Hugo Pimentel Tavares, Maria da Glória Diniz de Almeida, Nilo Antonio de Souza Sampaio

DOI: 10.36229/978-65-5866-547-2.CAP.09

Capítulo 10: Modelo multicritério para a gestão de equipes de projetos em empresas juniores..... 119

Kauê Fernandes Dias Ventris, Felipe Segateli Irikawa, Daniel Angelo Longhi, Juliana Verga Shirabayashi, Marco Aurélio Reis dos Santos, Rafael Germano Dal Molin Filho

DOI: 10.36229/978-65-5866-547-2.CAP.10

Capítulo 11: Experiência extensionista – construção de uma máquina dispensadora de confeitos de chocolates 139

Ricardo Luís Ciuccio, Thiago Andrade Silva, Rodrigo Bezerra do Nascimento, Edson Barberato, Keli Cristiane Vido

DOI: 10.36229/978-65-5866-547-2.CAP.11

Capítulo 12: Tecnologias para ouvir e comunicar: acesso, cultura e direitos de surdos e deficientes auditivos 148

Gustavo Simas da Silva, Daniel Cordova Rosa, Lidiane Helena Reinaldo Franco, Fabrício Mähler Ramos, Vania Ribas Ulbricht

DOI: 10.36229/978-65-5866-547-2.CAP.12

Capítulo 13: Análise do espectro de batidas binaurais audíveis e inaudíveis associadas à música para o tratamento de ansiedade 169

Patrícia Friedrich Lima, Elaine da Silva Pereira Reis Roque, Anália Ribeiro Batista, Ederson Cichaczewski

DOI: 10.36229/978-65-5866-547-2.CAP.13

Autores 175

Capítulo 1

Peritagem jurídica naval

Ana Clara Braga da Motta
Antonio Eduardo Assis Amorim
Evandro Tozzi Mendonça
Mariana Nascimento Talier
Sérgio Lukine
José Antonio Galvão de Barros Caseiro
Vinícius Marmontel Soares da Silva

Resumo: O trabalho aborda os requisitos para atuar como perito judicial, posto isso, os autores traçaram o perfil desejável para o perito, de modo a levar a bom termo as tarefas ao perito determinadas pelo Juiz e responder com clareza, e técnica, as perguntas das partes-autor e ré do processo em pauta. A legislação jurídica que rege a designação do perito naval pelo Juiz e dos assistentes técnicos pelas partes-autor e ré serão, então, referenciadas e comentadas. Um estudo de rompimento de cabos de amarração de comboios fluviais é apresentado à luz de acórdãos do Tribunal Marítimo.

Palavras-chave: Peritagem, embarcações, perito naval, assistente técnico, segurança.

SEÇÃO 1 – COMO SE TORNAR UM PERITO

Acidentes, colisões, abalroamento, ou qualquer sinistro que aconteça no meio naval, requerem profissionais da área que sejam especialistas nesse tipo de investigação, esses peritos são engenheiros, ou militares formados pelo curso intensivo da Marinha do Brasil, que vão atuar tanto na defesa quanto na acusação dos fatos.

Como o próprio significado da palavra nos mostra, perito é aquele que é especialista em determinado assunto, ou aquele que é judicialmente nomeado para uma avaliação, exame ou vistoria e fornece seu parecer técnico. Para que alguém se torne um perito, ou especialista no ramo, é necessário ser formado na área naval e ter participado do curso de perícia naval, ministrado pela Marinha do Brasil, com duração de 6 meses e focado em técnicas de perícia criminal militar.

Segundo a Agência Marinha de Notícias, em uma matéria de abril de 2025, existem dois tipos de peritos:

- Perito oficial: Este é o perito aprovado por concurso público (estadual ou federal), que exerce a função de maneira contínua, com vínculo com a Polícia Judiciária Militar ou outro órgão competente.
- Perito ad hoc: Este profissional é nomeado para funções temporárias, com base em sua especialização, para cumprir uma exigência específica de um processo. Embora seja uma função legalmente reconhecida, a figura do perito ad hoc tem sido cada vez mais substituída pelo perito oficial, especialmente nas Forças Armadas.

SEÇÃO 2 – COMO ELABORAR UMA PERÍCIA

A peritagem jurídica utiliza, justamente, as ferramentas de conhecimento da legislação naval que serão aplicadas conforme as demandas envolvendo os acidentes e os fatos da navegação.

Quando duas embarcações interagem existem regras claras determinando qual delas deve manobrar para evitar um abalroamento. Nesse caso, sendo as duas a propulsão mecânica e de portes semelhantes, deve manobrar aquela que avista a outra embarcação por boreste, por exemplo.

Com o suporte do Boletim de Acidentes Julgados do Tribunal Marítimo, onde estão detalhados os casos de acidentes e fatos navais, e, após o juiz determinar os valores a serem depositados referentes aos honorários, o perito está disponível para ser inquirido pelas partes – autor e réu – sobre perguntas técnicas da demanda em curso. As perguntas serão feitas pelos assistentes técnicos das partes, sendo, também, profissionais da área naval. Em determinados casos é importante fazer uma perícia na embarcação com o devido registro nos autos do processo, obviamente, com a presença dos assistentes técnicos.

Ao final da perícia na embarcação o perito deve elaborar um documento, que será anexo aos autos também.

Sendo assim, com todos os documentos anexos, perícias nas embarcações concluídas e dúvidas dos peritos e assistente sanadas, o juiz pode proferir sua sentença, não tendo mais perguntas de nenhuma parte e nem dúvidas do juiz, o perito pode solicitar a liberação dos honorários que estavam em depósito judicial.

SEÇÃO 3 – ESTUDO DO CASO SOBRE ROMPIMENTO DE CABOS DE AMARRAÇÃO DE COMBOIOS FLUVIAIS

A tensão do cabo de amarração entre barcaças e entre uma barcaça e um empurrador é influenciada por vários fatores, incluindo o projeto do sistema de amarração, as condições ambientais e as propriedades mecânicas dos cabos usados. Vários sistemas de amarração foram desenvolvidos para gerenciar essas tensões de forma eficaz, cada um com mecanismos e estratégias de controle exclusivos. A tensão nesses sistemas é crucial para manter a estabilidade e a segurança, especialmente em ambientes aquáticos dinâmicos.

Li Wang et al. (2024) propõem um sistema de amarração de tensão constante baseado em terra, usando o princípio de controle hidráulico variável de volume. Esse sistema visa melhorar a distribuição da tensão do cabo ajustando o comprimento do cabo, garantindo que a tensão permaneça constante entre o navio e a estrutura. Isso aborda as questões de segurança e confiabilidade encontradas nos sistemas de amarração tradicionais durante o processo de amarração. Os resultados indicam que a tensão máxima do cabo no sistema de amarração por tensão constante baseado em terra é significativamente menor do que a dos sistemas tradicionais. Essa redução permite que a tensão seja mantida dentro de uma faixa fixa, o que aumenta o fator de segurança do cabo de amarração. Consequentemente, essa melhoria reduz o risco de falha no sistema de amarração e aumenta a capacidade de sobrevivência do navio.

Modelos numéricos podem simular a resposta dinâmica de cabos de amarração sob várias forças, como força de fluxo e ações induzidas por vórtices. Essas simulações ajudam a entender as variações de tensão e o impacto das forças ambientais no sistema de amarração, fornecendo informações sobre como otimizar o gerenciamento da tensão do cabo. He et al. (2012) enfocam a dinâmica de uma plataforma de monitoramento subaquático, que é uma estrutura usada para apoiar equipamentos para observação subaquática. O objetivo é entender como essa plataforma responde a várias forças, particularmente ao fluxo de água ao seu redor. O estudo usa uma teoria específica chamada teoria da carga de impacto de Hopkinson para analisar essas respostas.

A teoria da carga de impacto de Hopkinson é uma estrutura usada para analisar as forças que ocorrem durante um impacto repentino entre dois corpos. Isso ajuda a entender como os materiais respondem às condições de carregamento rápido, como colisões ou impactos. Isto ocorre quando há uma colisão entre dois corpos. Quando os materiais são impactados, eles podem se deformar elasticamente. A teoria de Hopkinson ajuda a prever quanta deformação ocorrerá durante o impacto.

Eles levam em conta o efeito catenóide, que descreve como o cabo se comporta sob tensão. Rodriguez Luiz et al. (2020) desenvolveram um modelo numérico com o objetivo de estudar a manobra de reboque para corpos flutuantes e submersos. Este modelo se concentra na dinâmica de uma linha catenária que se move entre dois corpos, onde um corpo tem um movimento fixo enquanto o outro está livre para se mover. Essa configuração é crucial para entender como os sistemas de reboque operam em cenários do mundo real.

Os autores utilizaram o modelo de molas Rayleigh para melhor representar a tensão na linha de reboque, o que contribui para a confiabilidade do modelo. Uma das principais melhorias oferecidas pelo modelo de mola Rayleigh é sua capacidade de reduzir o ruído numérico nos resultados da simulação.

O modelo de molas de Rayleigh é projetado para representar de forma mais realista a tensão em linhas ou cabos, como os utilizados em sistemas de reboque. Ele considera as propriedades elásticas do material, permitindo que a simulação reflita melhor o comportamento real sob diferentes condições de carga.

Jiang, Ai e Fei Wang (2018) exploram os fatores que influenciam a força de ruptura dos cabos rebocadores em canais estreitos. Hao et al. (2024) conduziram uma simulação numérica para analisar as condições de amarração e a quebra de cabos sob condições climáticas extremas em um transportador de minério muito grande. Este estudo enfatiza a importância de pré-ajustar os cabos para evitar acidentes, o que pode ser aplicável a sistemas de barcaças em condições adversas. Eles consideraram duas estratégias de amarração diferentes: uma em que os cabos são pré-ajustados e outra em que não são ajustados. Essa comparação é crucial para entender as implicações do gerenciamento de cabos na segurança durante condições climáticas adversas.

Os autores verificaram que o pré-ajuste dos cabos provavelmente contribui para melhorar a estabilidade da embarcação durante ventos extremos. Ao garantir que os cabos estejam perfeitamente tensionados antes de enfrentarem condições climáticas adversas, o sistema de amarração pode suportar melhor as forças exercidas pelos ventos fortes, reduzindo o risco de falha do cabo.

Guo, Chen e Tang (2022) analisam o comportamento de deriva de um grande petroleiro, especificamente um com uma tonelagem de porte bruto (DWT) de 300.000 toneladas, após um incidente de quebra de cabo.

1. Norma da capitania

O sistema de amarração e atrelamento de comboios com dimensões superiores a 70 metros precisa estar disposto adequadamente ao longo da embarcação, de forma a não oferecer riscos de acidentes envolvendo vidas humanas.

Os pontos de fixação dos cabos e dispositivos de atrelamento devem ser posicionados em locais de fácil acesso, mas sem obstruir áreas de circulação da tripulação. Deve-se observar que os pontos devem estar localizados em áreas onde a tripulação não possa tropeçar ou ficar presa durante operações normais. A disposição inadequada pode levar a acidentes como esmagamento de membros ou queda.

A segurança do comboio depende da integridade física dos cabos, ganchos, manilhas e outros componentes do sistema de atrelamento. Desta forma, os equipamentos devem estar em boas condições de uso e pronto para o mesmo, não possuindo trincas, cantos vivos, pontos de corrosão e incrustações que comprometam seu funcionamento.

Rachaduras no material podem comprometer a resistência estrutural, tornando o sistema propenso a falhas durante operações de navegação. Bordas cortantes podem danificar os cabos de aço ou sintéticos, reduzindo sua vida útil e aumentando o risco de rompimento.

Ambientes marítimos e fluviais favorecem a corrosão de metais. Inspeções regulares devem ser realizadas para remover ferrugem e substituir peças comprometidas. Crescimento de organismos aquáticos sobre os componentes metálicos pode afetar o funcionamento dos mecanismos de soltura e ajuste.

O sistema deve ser tal que deve permitir a soltura dos cabos a qualquer momento e em tempo curto. A capacidade de liberação rápida dos cabos é essencial para emergências e manobras operacionais. O sistema deve permitir que a tripulação solte os cabos

imediatamente em caso de emergência, como aproximação de embarcações, avarias ou mudanças bruscas na correnteza.

Os dispositivos de soltura não podem exigir ferramentas complexas para serem operados rapidamente. Todos os membros envolvidos na operação devem estar treinados para soltar os cabos de forma segura e eficiente.

A ligação entre o empurrador e a chata deverá garantir a rigidez do comboio quando navegando. O empurrador e a chata formam um único sistema de navegação, e a forma como estão conectados afeta diretamente a eficiência, a segurança da operação e a manobra da embarcação. Se a ligação entre eles não for rígida, o comboio pode apresentar instabilidade na navegação, poderá haver um consumo excessivo de combustível devido a oscilações indesejadas e o desempenho hidrodinâmico do conjunto pode ser comprometido.

Para que o comboio esteja bem conectado, devem ser utilizados dispositivos de conexão robustos, como engates metálicos reforçados. Deve-se observar o posicionamento adequado dos pontos de conexão para evitar torções e flexões excessivas. A inspeção regular destes pontos para verificar desgastes ou desalinhamentos.

Para garantir a estabilidade e o controle da embarcação durante a navegação, o sistema de amarração e atrelamento deve evitar movimento transversal (lateral) e movimento longitudinal (ao longo do eixo da embarcação).

2. Requisitos dos cabos

Os cabos devem seguir as normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que estabelecem padrões de construção, resistência e segurança para cabos de aço, garantindo que atendam aos requisitos mínimos para operações marítimas e portuárias. Deve-se observar esta norma assegura uniformidade e compatibilidade com outros equipamentos e regulações da navegação.

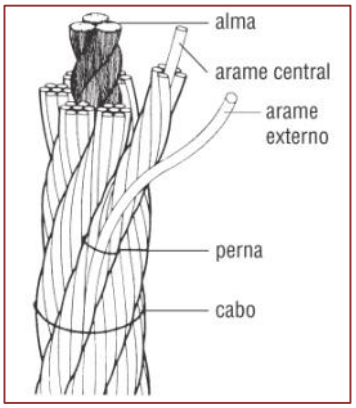
Recomenda-se o uso do cabo de aço 6 x 24 + 7 AF. O cabo é formado por 6 cordões principais (ou pernas). Cada cordão é composto por 24 fios de aço entrelaçados, garantindo boa flexibilidade e resistência à fadiga. O núcleo interno do cabo contém 7 almas de fibra (AF), que dão maior flexibilidade e ajudam a absorver impactos. Também servem como elemento de redução do atrito interno, prolongando a vida útil do cabo.

A tensão de ruptura representa a resistência máxima que o cabo pode suportar antes de se romper e, no caso deste cabo, ele tem a resistência mínima de 140 kgf/mm^2.

A norma permite o uso de outros cabos com dimensões diferentes desde que tenham resistência à tração igual ou superior a 140 kgf/mm^2.

A Figura 1 mostra o detalhe da nomenclatura do cabo

Figura 1 - Nomenclatura do cabo



Fonte: Guia vertical[1]

3. Tensão de ruptura do cabo

A carga de ruptura total (Crup) que os cabos de atrelamento devem suportar, é dada por

$$Crup = \frac{20\ IHP\ L_e}{B_e}\ (kgf), \qquad (1)$$

na qual IHP é a potência total do(s) motor(es) de propulsão do empurrador (em HP), L_e é o comprimento total do empurrador (em metros) e B_e é a Boca moldada do empurrador, em metros.

O empurrador tem $L_e = 17{,}15\ m$ e $B_e = 7\ m$. A potência total dos motores é $IHP = 900\ hp$. Com estes valores tem-se que a carga total de ruptura é

$$Crup = 44100\ \ kgf. \qquad (2)$$

O numeral de equipamento (NE) é um valor numérico que representa uma estimativa do porte da embarcação, levando em conta suas dimensões principais e o volume das estruturas acima da linha d'água. Ele é utilizado para definir exigências estruturais e operacionais, como a resistência mínima dos cabos de amarração e atrelamento, equipamentos de fundeio e requisitos de segurança. Trata-se, portanto, de um parâmetro que quantifica as dimensões estruturais de uma chata para determinar a carga mínima de ruptura dos cabos de amarração e atrelamento entre as chatas.

$$N_E = L_c B_c d + 0{,}25 V_M, \qquad (3)$$

em que L_c é o comprimento da chata, B_c é a boca da chata, d é o calado máximo da chata e V_M é o volume de obras mortas do casco. No caso em questão, tem-se $L_c = 59{,}44\ m$ e $B_c = 10{,}67\ m$.

O volume de obras mortas representa o volume da parte da estrutura da embarcação acima da linha d'água, ou seja, a porção não submersa do casco. Para a chata padrão Tietê, o cálculo desse volume pode ser feito a partir das dimensões geométricas típicas da embarcação, conforme mostrado na Tabela 1.

[1] https://www.guiavertical.com.br/noticias/24/saiba-mais-sobre-cabos-de-aco.html

Tabela 1 - Dimensões típicas da chata padrão Tietê

Parâmetro	Valor
Comprimento (L)	59,44 m
Boca (B)	10,67 m
Calado (T)	2,50 m
Altura total (H)	3,20 m

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Assumindo uma geometria retangular simples, os volumes são calculados por:

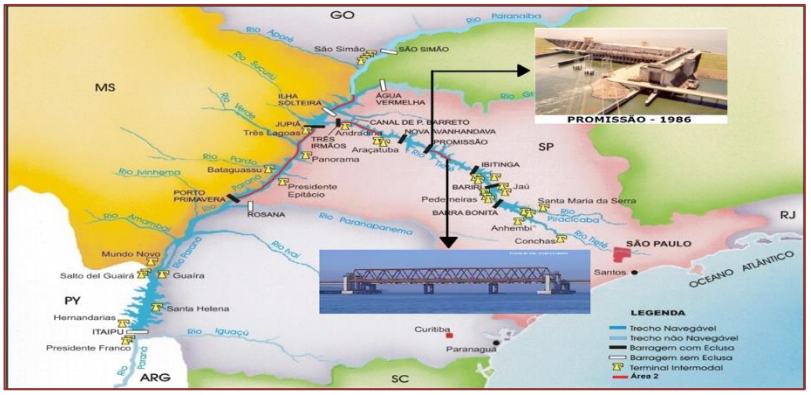
$$V_{total} = LBH = 2029{,}52\ m^3,$$
$$V_{carena} = LBT = 1585{,}56\ m^3, \quad (4)$$
$$V_{obras\ mortas} = V_{total} - V_{carena} = 443{,}96\ m^3.$$

Dessa forma, $N_E \approx 1474{,}57\ m^3$.

A Tabela 2 mostra a relação do numeral de equipamento em relação as áreas 1 e 2. A área 1 corresponde as áreas abrigadas onde a altura das ondas não dificultam a navegação. A área 2 representa as áreas parcialmente abrigadas onde se observa ondas com alturas significativas ou ventos e correntezas que interferem de forma significativa a navegação.

A Figura 2 mostra os trechos em vermelho que delimitam a área 2.

Figura 2 - Mapa da hidrovia. A área 2 são os trechos demarcados em vermelho enquanto os demais é área 1



Fonte: (Marinha do Brasil - CFTP, 2023).

Tabela 2 - Tabela de valores por ruptura por cabo de amarração de comboio de NE para as Áreas 1 e 2

NE	ÁREA 1	ÁREA 2
50	2.50	2.80
100	2.50	2.80
150	2.80	3.20
200	3.20	4.55
300	4.00	5.00
400	4.80	6.00
500	5.60	7.10
600	6.30	7.80
800	7.60	9.50
1000	8.80	11.00
1200	10.10	12.80
1600	11.30	14.05
2000	12.00	16.10
2400	14.00	17.60

Fonte: elaborado pelos autores (2025).

Considerando uma interpolação linear, tem-se que a carga de ruptura do cabo é 10,92 kgf para a área 1 e 13,66 kgf se for área 2.

4. Procedimento de amarração das barcaças

A amarração adequada das barcaças às boias é essencial para garantir estabilidade e segurança durante as operações. O processo segue os seguintes passos:

a) Preparação

- Todos os membros da tripulação devem estar cientes dos protocolos de amarração e segurança.
- Equipamentos de segurança devem ser utilizados corretamente.

b) Aproximação e Posicionamento

- Notificar o operador da eclusa ou a autoridade responsável sobre a aproximação da embarcação.
- Posicionar a barcaça perto da boia, mantendo uma distância segura para evitar colisões.

c) Fixação das Linhas de Amarração

- Jogar a linha na boia e enrolá-la firmemente ao seu redor.
- Ajustar a folga da linha para acomodar variações no nível da água.
- Verificar se os nós estão bem fixados para evitar deslizamentos.

d) Monitoramento e Segurança

- Inspecionar periodicamente as amarrações para detectar desgastes ou folgas.
- Evitar movimentos bruscos que possam comprometer a estabilidade da embarcação.

- Manter comunicação constante entre os membros da tripulação durante todo o processo.

SEÇÃO 4 – CONCLUSÃO

A atividade de perícia está regulamentada no Código de Processo Civil (Brasil. Código de Processo Civil, 2024). A atuação de peritos para assessorar magistrados em situações em que a prova do processo dependa de conhecimento científico ou técnico foi regulamentada pelo Conselho Nacional de Justiça através a Resolução nº 233/2016. A necessidade aconteceu em razão da vigência do novo Código de Processo Civil-Lei nº 13.105/2015 que passou a prever um cadastro de profissionais autônomos e de órgãos científicos e técnicos para assessorar a Justiça de primeiro e segundo graus. A Resolução, já em vigor desde julho de 2016, regulamenta a criação e manutenção do Cadastro Eletrônico de Peritos e Órgãos Técnicos ou Científicos (CPTEC), que implementada nos Tribunais garantirá segurança e rapidez na escolha de peritos além de regulamentar a produção de informações para a contratação desses profissionais. O curso de formação de peritos judiciais é uma atividade desejável, mas não obrigatória, para o exercício da perícia naval (Aguiais, 2024). O suporte técnico para a realização da perícia naval encontra-se em bibliografias consagradas da atividade marítima e fluvial, notadamente, (FONSECA, 2019) e (Miguens, 2019). Normas da Marinha do Brasil fundamentam regras e procedimentos a serem seguidos para garantir uma navegação segura (Marinha do Brasil. Diretoria de Portos e Costas, 2024). Quando duas (ou mais) embarcações interagem existem regras claras determinando qual dessas embarcações deve manobrar para evitar um abalroamento. No caso de duas embarcações interagindo, sendo as duas a propulsão mecânica e de portes semelhantes, deve manobrar a que avista a outra por boreste (lado direito do barco), por exemplo. (Marinha do Brasil. Diretoria de Portos e Costas,2023). A peritagem naval conta, como vimos, com um sólido suporte de leis, regras, normas e instituições para a prática do ofício.

REFERÊNCIAS

[1] AGUIAIS, Edilson. **Curso de formação de peritos judiciais**. Editora IBCAPPA – Instituto Brasileiro de Consultoria, Auditoria, Perícia, Projetos e Avaliações LTDA. Goiânia, 2ª edição, 2004.

[2] BRASIL. **Código de processo civil. Lei nº 13.015, de 16/03/2015**. Editora Manole, 10ª edição, 2021.

[3] MARINHA DO BRASIL. Diretoria de Portos e Costas. **Normas da Autoridade Marítima.** Rio de Janeiro, 2024.

[4] MARINHA DO BRASIL. Diretoria de Portos e Costas. **RIPEAM – Regulamento Internacional Para Evitar Abalroamento no Mar**. Rio de Janeiro, 2023.

[5] STILBEN. **Saiba como atuam os Peritos Criminais Militares da Marinha do Brasil**. Agência Marinha de Notícias. Disponível em <https://www.agencia.marinha.mil.br/carreira-naval/saiba-como-atuam-os-peritos-criminais-militares-da-marinha-do-brasil>. Acesso em: junho de 2025.

[6] TRIBUNAL MARÍTIMO. Disponível em <https://www.marinha.mil.br/tm/>. Acesso em: junho de 2025.

[7] GUO, Jian; CHEN, Zhijun; TANG, Haiqi. Simulation Analysis on Cable Breaking of Large Ships in a Port. **Advances in Engineering Technology Research**, v. 1, n. 2, p. 207, 24 set. 2022.

[8] HAO, Qinglong *et al.* Mooring Safety Analysis of Cable Breaking Accident of a Very Large Ore Carrier under Extreme Windy Weather Based on Numerical Simulation. **Journal of Electrical Systems**, v. 20, n. 2, p. 1042–1051, 18 abr. 2024.

[9] HE, Kong De *et al.* Numerical Simulation of Impact Tension for Mooring Cable of Underwater Monitoring Platform. **Applied Mechanics and Materials**, v. 229–231, p. 2060–2064, 29 nov. 2012.

[10] JIANG, Yu-rou; AI, Wan-zheng; WANG, Fei. Research on Influence Factors of Tug Cable's Breaking Force in Narrow Channel. **DEStech Transactions on Economics, Business and Management**, n. icmed, 2 mar. 2018.

[11] MARINHA DO BRASIL - CFTP. **Normas e Procedimentos da Capitania Fluvial Tietê-Paraná**. Marinha do Brasil, , 2023. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/cftp/sites/www.marinha.mil.br.cftp/files/NPCF_REV2_MOD1_0.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2025

[12] RODRÍGUEZ LUIS, Álvaro *et al.* Simulation of Marine Towing Cable Dynamics Using a Finite Elements Method. **Journal of Marine Science and Engineering**, v. 8, n. 2, p. 140, 20 fev. 2020.

[13] WANG, Li *et al.* Study on Cable Tension Characteristics of Shore-Based Constant Tension Mooring Systems Under the Coupling Effect of Wind, Wave, and Current. **Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering**, v. 146, n. 5, p. 051704, 1 out. 2024.

[14] FONSECA, MAURILIO MAGALHÃES. **Arte Naval.** ISBN 978-85-7047-119-2. Serviço de Documentação da Marinha. Rio de Janeiro, 2019. Rio de Janeiro, 2024.

[15] MIGUENS, ALTINEU PIRES. **Navegação: A ciência e a arte**. Marinha do Brasil. Diretoria de Hidrografia e Navegação. Rio de Janeiro, 2019. 1ª Revisão atualizada.

Capítulo 2

Contribuição das energias solar e eólica para a transição energética

Mário Augusto Lopes de Almeida

Resumo: O presente trabalho investiga o papel da energia solar e eólica na transição energética, demonstrando sua importância na **redução de emissões de GEEs** para um futuro sustentável. O estudo argumenta que a chave para superar a intermitência dessas fontes reside na sinergia entre tecnologias. Ele destaca como as baterias e outros sistemas de armazenamento de energia (SAEEs) transformam a energia solar e eólica em fontes confiáveis. Ao se integrarem a uma rede elétrica inteligente e flexível, essas tecnologias não apenas **otimizam a utilização da energia renovável**, mas também garantem a resiliência do sistema. A análise conclui que essa transição, além de mitigar as mudanças climáticas, promove a conservação de recursos naturais finitos, direcionando-os para usos estratégicos como matéria-prima e para o benefício das próximas gerações.

Palavras chave: "energia solar", "energia eólica", "redução de emissões", "gases de efeito estufa" (GEE), "CO_2 equivalente", "transição energética".

1. DISCUSSÃO

Impacto Geral e a Quantificação da Redução de GEEs (Gases de Efeito Estufa) devido à contribuição da Energia Solar e da Energia Eólica. Essa é a essência do papel dessas fontes na transição energética e no combate às mudanças climáticas.

As energias solar e eólica são protagonistas incontestáveis na descarbonização da matriz energética global. Sua contribuição é dupla:

1. **Substituição Direta:** Elas substituem a geração de eletricidade a partir de combustíveis fósseis (carvão, gás natural, petróleo), que são os principais emissores de GEEs.
2. **Baixas Emissões no Ciclo de Vida:** Embora possuam emissões embutidas em sua fabricação, transporte e instalação, as emissões operacionais são praticamente nulas, resultando em uma pegada de carbono muito menor ao longo de seu ciclo de vida em comparação com os fósseis.

Vamos detalhar o impacto e a quantificação:

1. **Impacto Geral na Descarbonização da Matriz Elétrica**

O crescimento exponencial da energia solar e eólica tem sido o principal motor da redução de GEEs no setor de energia elétrica em todo o mundo.

2. **Quantificação da Redução de GEEs (Dados e Estatísticas)**

Quantificar a redução de GEEs pode ser feito de várias maneiras: em termos de toneladas de CO2 equivalente (CO2e) evitadas anualmente, ou pela comparação da pegada de carbono por unidade de energia gerada.

- **Liderança na Expansão:** A energia solar fotovoltaica e a eólica são as fontes que mais adicionam capacidade de geração globalmente ano após ano. Em 2023, a capacidade global de energia renovável cresceu em 50%, atingindo 510 GW, com a energia solar respondendo por três quartos dessa expansão. Isso impulsiona a descarbonização mais rapidamente do que o previsto.
- **Deslocamento de Combustíveis Fósseis:** Cada quilowatt-hora (kWh) gerado por solar ou eólica é um kWh que não precisou ser gerado por uma termelétrica a carvão ou gás, que são altamente intensivas em carbono. Esse "deslocamento" é o principal mecanismo de redução de emissões.
- **Redução do Fator de Emissão da Eletricidade:** À medida que a participação das renováveis na matriz elétrica aumenta, a intensidade de carbono da eletricidade consumida diminui. Isso significa que, mesmo sem mudar o consumo, a energia elétrica usada já é "mais limpa". No Brasil, por exemplo, o fator de emissão de CO2 na geração de energia elétrica em 2023 foi o menor em 12 anos, em parte devido à expansão renovável (MCTI, 2024).
- **Atingimento de Metas Climáticas:** A expansão acelerada dessas fontes é fundamental para que os países possam cumprir suas Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs) sob o Acordo de Paris e para que o mundo tenha a chance de limitar o aquecimento global a 1,5°C. A Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA) aponta que o uso em larga escala de fontes renováveis pode reduzir as emissões globais de carbono em até 90% até 2050.

2. IMPACTO DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS NA DESCARBONIZAÇÃO

As energias solar e eólica substituem as fontes fósseis na geração de eletricidade através de um processo que, embora pareça simples, envolve dinâmica de mercado, regulação e avanços tecnológicos.

A substituição das fontes fósseis (carvão, gás natural, petróleo) por energia solar e eólica na geração de eletricidade ocorre por meio de uma combinação de fatores econômicos, operacionais e regulatórios, em um processo conhecido como **deslocamento de geração**.

Aqui estão os principais mecanismos pelos quais isso acontece:

1. Competitividade Econômica e "Merit Order Effect"

- **Queda Drástica de Custos:** A tecnologia solar fotovoltaica e a eólica tiveram uma redução de custos sem precedentes nas últimas décadas. Painéis solares e turbinas eólicas são agora, em muitas regiões do mundo, a forma mais barata de gerar nova eletricidade. Essa competitividade é um fator fundamental.
- **Custo Marginal Zero ou Próximo de Zero:** Uma vez que uma usina solar ou eólica é construída, o "combustível" (luz solar ou vento) é gratuito. Isso significa que o custo para produzir um kWh adicional é praticamente zero. Em contraste, as termelétricas a carvão, gás ou petróleo têm custos contínuos e significativos com a compra do combustível.
- **"Merit Order Effect" (Efeito de Ordem de Mérito):** Nos mercados de eletricidade, as usinas são despachadas (ligadas) da mais barata para a mais cara. Como a energia solar e eólica têm custos marginais próximos de zero, elas são as primeiras a serem despachadas quando disponíveis. Isso empurra as usinas mais caras (geralmente as termelétricas a carvão e, em seguida, as a gás) para fora da operação, ou as força a operar com menos frequência e por menos horas. Assim, sempre que há sol ou vento, a eletricidade fóssil é "deslocada".

2. Mecanismos de Mercado e Políticas Públicas

- **Leilões de Energia:** Governos e distribuidoras realizam leilões para comprar energia de longo prazo. A competitividade da solar e eólica faz com que elas frequentemente ofereçam os preços mais baixos, ganhando a maior parte dos contratos e, assim, garantindo sua entrada na matriz. Isso gradualmente substitui contratos antigos ou a necessidade de novas usinas fósseis.
- **Metas de Energias Renováveis (Renewable Portfolio Standards - RPS):** Muitos países e regiões estabelecem metas que obrigam as concessionárias ou o sistema elétrico a ter uma certa porcentagem de energia proveniente de fontes renováveis. Isso cria uma demanda artificial que força a substituição.
- **Precificação de Carbono:** Impostos sobre carbono ou sistemas de comércio de emissões (mercados de carbono) encarecem a geração de eletricidade a partir de combustíveis fósseis, tornando as renováveis ainda mais competitivas e acelerando sua adoção.
- **Incentivos Fiscais e Regulatórios:** Subsídios (como tarifas *feed-in* no passado), isenções fiscais e linhas de crédito facilitadas para projetos renováveis tornam o

investimento mais atraente do que em novas termelétricas fósseis.

3. **Fatores Operacionais e de Despacho da Rede**

- **Prioridade de Despacho:** Em muitos sistemas elétricos, a energia renovável é dada prioridade de despacho, o que significa que, sempre que estiver disponível, ela deve ser utilizada antes de outras fontes, especialmente as fósseis.
- **Resposta Rápida:** Embora intermitentes, a capacidade de algumas usinas solares e eólicas (com o auxílio de baterias) de aumentar ou diminuir a geração rapidamente pode ser usada para equilibrar as flutuações da rede, reduzindo a necessidade de acionar termelétricas mais lentas e menos eficientes para esse fim.
- **Fechamento de Usinas a Carvão:** Em mercados onde a energia renovável se torna dominante e os preços no atacado são deprimidos pelo "merit order effect", muitas usinas a carvão e, em alguns casos, a gás, tornam-se antieconômicas para operar e são desativadas ou "aposentadas".

4. **Eletrificação e Geração Distribuída**

- **Eletrificação de Setores:** A transição energética não se limita apenas à geração de eletricidade. O aumento da eletrificação em setores como transporte (veículos elétricos), aquecimento e indústria significa que a demanda por eletricidade está crescendo. Se essa eletricidade é gerada por solar e eólica, ela diretamente substitui o consumo de petróleo (em veículos), gás natural (em aquecimento) e carvão/gás (na indústria).
- **Geração Distribuída (Solar em Telhados):** Milhões de painéis solares instalados em residências e empresas geram eletricidade diretamente no ponto de consumo. Essa energia atende à demanda local antes que a eletricidade da rede (muitas vezes gerada por fósseis) precise ser consumida. Isso reduz a demanda agregada por eletricidade das grandes usinas fósseis.

Exemplo Prático

Imagine um dia ensolarado e ventoso. As usinas solares e parques eólicos estão produzindo eletricidade a um custo marginal muito baixo. No mercado de energia, os operadores do sistema priorizam essa energia barata. Consequentemente, as termelétricas a carvão e gás, que têm custos operacionais mais altos devido ao combustível, são instruídas a reduzir sua produção ou até mesmo a desligar temporariamente. Durante a noite, se o vento continua forte, ele continua a deslocar a geração fóssil. Quando o vento e o sol estão ausentes, outras fontes (hidrelétricas, termelétricas a gás que ainda são necessárias) entram para suprir a demanda. À medida que mais baterias são adicionadas ao sistema, elas podem armazenar o excedente solar e eólico para uso quando essas fontes não estão disponíveis, ampliando ainda mais o deslocamento de fósseis.

Em suma, a energia solar e eólica substituem as fontes fósseis ao oferecerem uma alternativa mais barata, mais limpa e cada vez mais abundante para a geração de eletricidade, forçando a saída das fontes mais poluentes do mercado e da operação.

Para compreender a contribuição real e de longo prazo das energias solar e eólica na transição energética e para avaliar o impacto ambiental dessas tecnologias, é crucial ir

além das emissões operacionais (que são quase nulas) considerar todo o seu **ciclo de vida**.

1. Análise das Emissões ao Longo de Todo o Ciclo de Vida

A Análise do Ciclo de Vida (ACV) é uma metodologia que avalia os impactos ambientais de um produto ou serviço desde a extração das matérias-primas até o descarte final. Para a energia solar e eólica, isso inclui:

- **Produção/Fabricação:**
  - **Energia Solar Fotovoltaica:** A fabricação de paineis solares, especialmente as células de silício, é a fase mais intensiva em energia e emissões. Inclui a mineração de quartzo, a purificação do silício, a produção de wafers, células e módulos, e o uso de energia (muitas vezes de uma matriz fóssil) nesse processo. A pegada de carbono está diminuindo à medida que a fabricação se torna mais eficiente e usa energia mais limpa.
  - **Energia Eólica:** A fabricação de turbinas eólicas envolve a produção de aço, fibra de vidro (para as pás), concreto (para as fundações), cobre (para geradores) e metais terras raras (para ímãs em alguns geradores). As emissões vêm da energia consumida nesses processos e da extração e processamento dos materiais.
- **Transporte:**
  - As emissões dessa fase dependem das distâncias percorridas e dos meios de transporte utilizados (navios, caminhões). Como muitos componentes são fabricados em diferentes partes do mundo, o transporte contribui para a pegada de carbono.
- **Instalação:**
  - A construção de usinas solares e parques eólicos (terraplanagem, fundações, montagem de equipamentos) gera emissões, principalmente pelo uso de maquinário pesado e consumo de combustível.
- **Operação:**
  - **Energia Solar e Eólica:** Esta é a fase onde as emissões são praticamente nulas. Uma vez em operação, as usinas não queimam combustíveis e, portanto, não liberam GEEs diretamente. Há emissões muito pequenas associadas à manutenção, como o deslocamento de veículos.
  - **Contraste com Fósseis:** Usinas a carvão, gás natural e petróleo emitem grandes quantidades de CO2 (e outros poluentes) durante a operação, que é a fase dominante de suas emissões de ciclo de vida.
- **Desativação/Desmantelamento e Reciclagem:**
  - Ao final da vida útil (geralmente 25-30 anos para painéis solares e turbinas eólicas), há emissões associadas ao desmantelamento das estruturas e ao transporte de resíduos.
  - A **reciclagem** é um fator crucial. Embora o descarte de painéis solares e pás de turbinas eólicas seja um desafio em crescimento, a capacidade de reciclagem está evoluindo. A reciclagem de materiais como silício, alumínio, cobre e aço reduz significativamente a pegada de carbono do ciclo de vida, pois diminui a necessidade

de extração de novas matérias-primas.

Pegada de Carbono no Ciclo de Vida (gCO2e/kWh):

Quando todas essas fases são consideradas, a pegada de carbono total das energias solar e eólica é drasticamente menor do que a dos combustíveis fósseis:

- **Energia Solar Fotovoltaica:** Geralmente entre **30 e 60 gCO2e/kWh**. Este valor tem diminuído com o tempo devido à melhoria da eficiência dos painéis e processos de fabricação mais limpos.
- **Energia Eólica:** Possui uma das menores pegadas, variando entre **10 e 25 gCO2e/kWh**. A eólica *offshore* pode ter uma pegada ligeiramente maior devido à complexidade da instalação.
- **Para Comparação:**
  - **Gás Natural:** 400-600 gCO2e/kWh
  - **Carvão:** 800-1000 gCO2e/kWh

O "payback energético" e o "payback de carbono" (tempo necessário para uma usina gerar a energia ou compensar as emissões gastas em sua produção) para solar e eólica são de poucos anos, tipicamente entre 1 a 3 anos. Isso significa que, após esse curto período, a usina já "pagou" sua dívida de carbono e passou a ser uma fonte de energia limpa líquida durante o resto de sua vida útil.

2. Impacto Quantitativo: Dados e Projeções sobre Toneladas de CO2 Equivalente Evitadas

A contribuição da solar e eólica para a redução de GEEs já é de bilhões de toneladas de CO2e e continua a crescer exponencialmente.

- **Globalmente:**
  - A expansão da capacidade renovável (solar e eólica sendo os maiores impulsionadores) tem sido crucial para a estabilização ou mesmo redução das emissões do setor elétrico em muitas regiões.
  - Em 2023, a Agência Internacional de Energia (IEA) e a Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA) destacaram que a geração de energia renovável (incluindo hidrelétrica, biomassa, solar e eólica) evitou **bilhões de toneladas de CO2** que seriam emitidas pela queima de combustíveis fósseis. A IRENA estimou que a geração renovável evitou aproximadamente **2,2 bilhões de toneladas de CO2** globalmente em 2023.
  - A IEA projeta que, sob um cenário de emissões líquidas zero até 2050 (Net Zero Emissions by 2050), as energias renováveis desempenharão o papel principal na descarbonização da eletricidade, com a solar e eólica respondendo pela vasta maioria da nova capacidade.
- **No Brasil:**
  - Brasil, com sua matriz já majoritariamente renovável (hidrelétrica), tem visto a solar e eólica se tornarem pilares adicionais de descarbonização, especialmente para atender ao crescimento da demanda e para diversificar a matriz.

- A **energia solar** acumulou a evitação de **mais de 50 milhões de toneladas de CO2** no Brasil. Somente no primeiro semestre de 2024, a fonte evitou mais de 5,5 milhões de toneladas de CO2 (ABSOLAR).
- A **energia eólica** evitou **47 milhões de toneladas de CO2 em 2023** no Brasil, o equivalente às emissões de cerca de 70 milhões de automóveis leves (ABEEólica, INFOVENTO #35, Outubro de 2024).
- Esses números são significativos e demonstram o impacto direto na redução da intensidade de carbono da eletricidade brasileira. O fator de emissão de CO2 da geração de energia elétrica no Brasil em 2023 foi o menor em 12 anos, em grande parte devido à forte contribuição da solar e eólica (MCTI, 2024).

3. CENÁRIOS E PROJEÇÕES: COMO A EXPANSÃO DESSAS FONTES PODE INFLUENCIAR FUTURAS REDUÇÕES DE EMISSÕES

As projeções das principais agências e instituições de pesquisa energética global são unânimes: a contínua e rápida expansão da energia solar e eólica é a **espinha dorsal** dos cenários de descarbonização profunda.

- **Liderança Absoluta na Nova Capacidade:**
  - A IEA, em seu relatório *World Energy Outlook*, projeta que a energia solar e eólica continuarão a ser as tecnologias de geração de eletricidade mais baratas e que mais crescem, liderando a expansão da capacidade global até 2050. Em cenários de descarbonização ambiciosos, elas se tornam as principais fontes de energia elétrica global.
  - A IRENA, em seu *World Energy Transitions Outlook*, aponta que, para alcançar um cenário de 1,5°C, a capacidade renovável precisaria quase triplicar até 2030, com a solar e eólica representando a maior parte desse crescimento.
- **Descarbonização Completa do Setor Elétrico:**
  - Em cenários de "Net Zero" até 2050, a geração de eletricidade precisa ser quase que completamente descarbonizada. Isso só é possível com a predominância de fontes renováveis como solar e eólica, apoiadas por armazenamento, flexibilidade da rede e, em menor grau, outras renováveis (hidrelétricas, geotérmicas, etc.).
  - A vasta maioria da eletricidade global em 2050, em cenários de 1,5°C, virá de fontes como a solar e a eólica.
- **Eletrificação de Outros Setores:**
  - A disponibilidade de eletricidade limpa e barata (solar e eólica) permite a eletrificação de setores que hoje dependem de combustíveis fósseis, como transporte (veículos elétricos), aquecimento industrial e residencial (bombas de calor), e produção de hidrogênio verde.
  - Essa eletrificação impulsionada por renováveis é uma **segunda onda de redução de emissões**, estendendo o impacto para muito além do setor elétrico.
- **Queda Acelerada de Custos e Inovação:**
  - A expansão contínua gera economias de escala e incentiva a inovação, que por sua vez leva a novas quedas de custos e melhorias de desempenho. Isso cria um ciclo

virtuoso que acelera ainda mais a transição.

- Espera-se que novas tecnologias de células solares (perovskitas, células tandem) e turbinas eólicas maiores e mais eficientes continuem a aumentar o potencial e a competitividade dessas fontes.

Em suma, a análise do ciclo de vida demonstra que a energia solar e eólica são, de fato, tecnologias de baixo carbono. Seu impacto quantitativo na redução de GEEs já é massivo e as projeções indicam que elas serão as ferramentas mais poderosas para descarbonizar o sistema energético global nas próximas décadas, sendo absolutamente indispensáveis para atingir as metas climáticas mais ambiciosas.

O avanço tecnológico das energias solar e eólica, por si só, não garante a transição energética e a redução de GEEs em larga escala. É o **papel das políticas públicas** que impulsiona a adoção dessas fontes, criando o ambiente necessário para que a tecnologia prospere, os investimentos fluam e os benefícios ambientais sejam maximizados.

As políticas atuam como um **catalisador**, removendo barreiras, criando incentivos e direcionando o mercado para a descarbonização.

O Papel Fundamental das Políticas Públicas

As políticas públicas influenciam a adoção de solar e eólica e, consequentemente, a redução de GEEs de diversas maneiras:

- **Redução de Riscos e Atração de Investimentos:**
  - **Mecanismo:** Políticas como leilões de energia de longo prazo (com contratos de compra e venda de energia - PPAs), tarifas *feed-in* (FiT) ou prêmios *feed-in* (FiP) oferecem **previsibilidade de receita e estabilidade** para os investidores.
  - **Impacto na Adoção:** Ao garantir que haverá um comprador para a energia gerada a um preço estável por muitos anos, essas políticas reduzem o risco de mercado, tornando projetos de energia solar e eólica mais atraentes para financiadores (bancos, fundos de investimento). Isso desbloqueia o capital necessário para a construção de novas usinas.
  - **Impacto na Redução de GEEs:** O aumento do investimento e da capacidade instalada de renováveis leva diretamente à substituição de fontes fósseis, que são os maiores emissores de GEEs.
- **Redução de Custos e Aumento da Competitividade:**
  - **Mecanismo:** Incentivos fiscais (créditos de imposto, isenções de impostos de importação para equipamentos), subsídios para P&D, e financiamentos com condições favoráveis. A **Inflation Reduction Act (IRA)** nos EUA é um exemplo recente e poderoso de como créditos fiscais (como o Investment Tax Credit - ITC e o Production Tax Credit - PTC) impulsionam a redução de custos e a adoção.
  - **Impacto na Adoção:** Tornam a energia solar e eólica ainda mais competitivas em relação aos combustíveis fósseis, mesmo em mercados onde os custos dos combustíveis fósseis são baixos. Isso acelera a paridade da rede e a adoção em larga escala por consumidores e empresas.
  - **Impacto na Redução de GEEs:** Quando as renováveis se tornam a opção mais barata, elas naturalmente deslocam as fontes fósseis, resultando em uma redução

substancial e contínua das emissões.

- **Criação de Demanda de Mercado:**
  - **Mecanismo:** Metas de portfólio renovável (RPS - Renewable Portfolio Standards), que exigem que as concessionárias obtenham uma porcentagem de sua energia de fontes renováveis.
  - **Impacto na Adoção:** Criam uma demanda regulatória que força o mercado a se adaptar e investir em energias renováveis, mesmo que o custo inicial seja ligeiramente mais alto.
  - **Impacto na Redução de GEEs:** A demanda garantida acelera a implantação de projetos renováveis e, consequentemente, a substituição das fontes de alta emissão.
- **Remoção de Barreiras Regulatórias e Burocráticas:**
  - **Mecanismo:** Simplificação de processos de licenciamento, regras claras para conexão à rede, e regulamentação da geração distribuída (como o *net metering* ou sistema de compensação de energia).
  - **Impacto na Adoção:** Reduzem o tempo e o custo de desenvolvimento de projetos, tornando-os mais viáveis e atraindo mais participantes (incluindo pequenos investidores e residências).
  - **Impacto na Redução de GEEs:** Agilizam a entrada de novas capacidades renováveis no sistema, acelerando a transição.
- **Precificação do Carbono e Desincentivo aos Fósseis:**
  - **Mecanismo:** Impostos sobre o carbono ou sistemas de comércio de emissões (mercados de carbono, como o EU ETS na União Europeia, ou o que está sendo implementado no Brasil).
  - **Impacto na Adoção:** Aumentam o custo de emissão de GEEs, tornando a geração de eletricidade a partir de combustíveis fósseis mais cara e, por contraste, a energia renovável mais competitiva e atraente.
  - **Impacto na Redução de GEEs:** Incentiva diretamente a redução de emissões ao encarecer a poluição e ao mesmo tempo promover as alternativas limpas.
- **Modernização da Infraestrutura e Flexibilidade da Rede:**
  - **Mecanismo:** Políticas que incentivam investimentos em redes inteligentes (*smart grids*), sistemas de armazenamento de energia (baterias), e mercados de serviços ancilares.
  - **Impacto na Adoção:** Permitem que um volume maior de energia renovável intermitente seja integrada à rede sem comprometer a estabilidade. A regulamentação do armazenamento de energia, por exemplo, cria um novo segmento de mercado para as baterias.
  - **Impacto na Redução de GEEs:** Sem essas políticas, a capacidade de absorção de renováveis pela rede seria limitada, o que restringiria a redução de GEEs. A flexibilidade da rede e o armazenamento garantem que a energia limpa produzida seja realmente utilizada para substituir os fósseis.

Exemplos Notáveis de Políticas e Seu Impacto:

- **Alemanha (Energiewende):** As tarifas *feed-in* no início dos anos 2000 foram cruciais para o crescimento inicial massivo da solar e eólica, demonstrando sua viabilidade em larga escala e impulsionando a queda global de custos, apesar dos custos iniciais para o contribuinte.
- **China:** Uma combinação de metas ambiciosas, investimentos massivos em P&D e fabricação, e políticas de incentivo (como leilões) fizeram da China o maior produtor e instalador de energia solar e eólica do mundo, com um impacto gigantesco nas suas próprias emissões e nas emissões globais (via cadeias de suprimentos).
- **Estados Unidos (Inflation Reduction Act - IRA):** Esta lei, aprovada em 2022, oferece bilhões de dólares em créditos fiscais e incentivos para energias limpas. Espera-se que acelere drasticamente a implantação de solar, eólica e armazenamento, e reduza as emissões de GEEs dos EUA em 40% até 2030 (em comparação com 2005).
- **Brasil:** Os leilões de energia (desde 2009) foram fundamentais para a entrada massiva da eólica e, mais recentemente, da solar de grande porte. A Lei da Geração Distribuída (agora Lei 14.300/2022) impulsionou a energia solar em telhados.

Em suma, as políticas públicas são o **motor propulsor** da transição energética. Elas transformam a viabilidade tecnológica e econômica das energias solar e eólica em realidade prática, removendo obstáculos, criando oportunidades de investimento e, o mais importante, garantindo que essas fontes limpas substituam eficazmente os combustíveis fósseis, levando à tão necessária redução das emissões de GEEs em escala global.

Principais benefícios econômicos e ambientais da adoção de fontes de energia renovável na transição energética global.

Dois pilares fundamentais da transição energética: o **econômico** e o **ambiental**. A adoção de fontes de energia renovável não é apenas uma necessidade para o planeta, mas também uma oportunidade gigantesca para a economia global.

Benefícios Econômicos da Adoção de Fontes de Energia Renovável

A transição para renováveis traz uma série de vantagens financeiras e estruturais que impulsionam o crescimento e a estabilidade econômica.

- **Redução da Volatilidade dos Preços da Energia:** Diferentemente dos combustíveis fósseis, cujos preços são voláteis e sujeitos a flutuações geopolíticas e de mercado, o "combustível" das renováveis (sol e vento) é gratuito. Uma vez instalada, a usina solar ou eólica tem custos operacionais baixos e previsíveis, protegendo economias de choques de preços.
- **Geração de Empregos e Crescimento Econômico:** O setor de energias renováveis é um grande gerador de empregos, superando o setor de combustíveis fósseis em número de postos de trabalho. A cadeia de valor inclui fabricação, instalação, operação, manutenção e pesquisa e desenvolvimento. Este é um motor de crescimento econômico, especialmente em países em desenvolvimento.

- **Atração de Investimentos e Inovação:** A estabilidade regulatória e a demanda crescente por energias limpas atraem bilhões em investimentos anuais, impulsionando a inovação tecnológica. Isso cria um ciclo virtuoso de aprimoramento de tecnologias, redução de custos e novas oportunidades de mercado.
- **Redução de Custos de Saúde Pública:** A poluição do ar e da água causada por combustíveis fósseis gera altos custos com saúde pública (doenças respiratórias, cardiovasculares, etc.). A energia renovável, por ser limpa, mitiga esses problemas, resultando em economias substanciais para sistemas de saúde.
- **Segurança Energética e Independência:** Reduz a dependência de importações de combustíveis fósseis, o que fortalece a segurança energética de um país, especialmente aqueles sem grandes reservas próprias. Isso libera recursos que antes seriam usados para importar energia para outras prioridades de desenvolvimento.
- **Aumento da Competitividade da Indústria:** Para indústrias intensivas em energia, o acesso a eletricidade limpa e com custo estável pode reduzir os custos operacionais e melhorar a competitividade no mercado global, especialmente à medida que mais países implementam tarifas de carbono ou requisitos de sustentabilidade.
- **Novas Receitas e Oportunidades de Negócio:** Cria mercados para novas tecnologias (baterias, smart grids), serviços de consultoria, financiamento verde e exportação de know-how e equipamentos em países líderes.

Benefícios Ambientais da Adoção de Fontes de Energia Renovável

Os benefícios ambientais são o cerne da urgência da transição energética e são cruciais para a saúde do planeta e das futuras gerações.

- **Redução Drástica das Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE):** Este é o benefício ambiental mais direto e crítico. A energia solar e eólica, por exemplo, não emitem GEEs durante sua operação, substituindo fontes que são as principais responsáveis pelo aquecimento global e pelas mudanças climáticas. Isso é fundamental para cumprir as metas do Acordo de Paris e limitar o aumento da temperatura global.
- **Melhora da Qualidade do Ar:** A queima de combustíveis fósseis libera poluentes atmosféricos como óxidos de enxofre (SOx), óxidos de nitrogênio (NOx) e material particulado. As renováveis eliminam essas emissões, resultando em ar mais limpo, menos problemas respiratórios e cardiovasculares, e redução da chuva ácida.
- **Uso Mais Eficiente da Água:** A geração de energia por termelétricas convencionais exige grandes volumes de água para refrigeração. As energias solar fotovoltaica e eólica consomem significativamente menos água, preservando recursos hídricos valiosos, especialmente em regiões com estresse hídrico.
- **Menor Poluição Hídrica e do Solo:** A mineração e o transporte de combustíveis fósseis, bem como o descarte de cinzas de carvão, podem contaminar solos e corpos d'água com metais pesados e outras substâncias tóxicas. As renováveis evitam esses impactos, protegendo ecossistemas e a saúde humana.

- **Conservação de Recursos Naturais:** Reduz a necessidade de extrair recursos finitos como carvão, petróleo e gás natural, **preservando-os para usos como matéria-prima**, aplicações que não podem ser eletrificadas ou para o benefício de futuras gerações.

Muitos recursos fósseis, como o petróleo e o gás natural, são cruciais não apenas como combustíveis, mas também como **insumos fundamentais para a indústria química e petroquímica**. Eles são a base para a produção de:

- **Plásticos:** Uma vasta gama de produtos, desde embalagens a componentes automotivos e eletrônicos.
- **Fertilizantes:** Essenciais para a agricultura moderna (produção de amônia a partir do gás natural).
- **Fibras sintéticas:** Como nylon e poliéster.
- **Produtos farmacêuticos e cosméticos.**
- **Borrachas sintéticas, tintas, solventes, etc.**

Esses são usos que, em grande parte, **não podem ser facilmente substituídos pela eletrificação** ou por alternativas renováveis no curto e médio prazo. A energia solar e eólica, ao liberarem carvão, petróleo e gás de seu papel primário como fontes de energia, permitem que esses recursos finitos sejam direcionados para aplicações de maior valor agregado e onde sua substituição é mais complexa ou ainda não viável em larga escala.

Redução da Poluição Sonora: Comparadas a muitas indústrias extrativas e usinas convencionais, as usinas solares são praticamente silenciosas. Embora turbinas eólicas produzam algum ruído, a evolução tecnológica e o planejamento locacional minimizam seu impacto, sendo geralmente muito menos invasivas que as atividades de mineração ou perfuração de petróleo/gás.

4. CONCLUSÃO

A adoção de fontes de energia renovável na transição energética global representa uma dupla vitória: ela não só endereça a crise climática com urgência e eficácia, mas também oferece um caminho robusto para o desenvolvimento econômico sustentável, com benefícios que se estendem da estabilidade financeira à criação de empregos e à saúde pública. É uma mudança que beneficia tanto o planeta quanto a prosperidade humana.

Desafios tecnológicos e regulatórios para a integração em larga escala de energias renováveis (solar e eólica) na matriz energética de países em desenvolvimento

É fundamental abordar os **desafios tecnológicos e regulatórios** para a integração em larga escala de energias renováveis (solar e eólica) na matriz energética de **países em desenvolvimento**. Embora esses países tenham um enorme potencial de recursos renováveis, eles frequentemente enfrentam barreiras estruturais, financeiras e institucionais que tornam a transição mais complexa do que em nações desenvolvidas.

Desafios Tecnológicos

Os desafios tecnológicos para a integração de solar e eólica em larga escala derivam

principalmente de sua **natureza intermitente e variável**, e da necessidade de adaptar infraestruturas muitas vezes antigas.

1. **Intermitência e Variabilidade:**

- **Problema:** A geração de energia solar depende da irradiação solar (dia/noite, nebulosidade) e a eólica da velocidade e direção do vento. Isso gera flutuações imprevisíveis na oferta de energia, enquanto a demanda por eletricidade pode ser constante ou ter picos em outros horários.
- **Impacto em Países em Desenvolvimento:** Redes elétricas menos robustas ou inteligentes em muitos desses países têm dificuldade em absorver essas flutuações sem comprometer a estabilidade do sistema.
- **Soluções Necessárias:**
  - **Sistemas de Armazenamento de Energia (Baterias):** Essenciais para estocar o excedente de energia e liberá-lo quando a geração renovável é baixa. O desafio é o **custo inicial elevado** e a **disponibilidade de tecnologias adequadas** para grande escala em mercados emergentes, embora os preços estejam caindo rapidamente.
  - **Previsão de Geração mais Precisa:** Modelos meteorológicos e algoritmos de IA para prever a geração solar e eólica, permitindo que os operadores da rede planejem melhor.

2. **Infraestrutura de Rede Elétrica (Transmissão e Distribuição):**

- **Problema:** As melhores fontes de sol e vento muitas vezes estão localizadas em regiões distantes dos grandes centros de consumo ou das redes de transmissão existentes. A infraestrutura de transmissão em países em desenvolvimento pode ser antiga, subdimensionada ou precisar de modernização.
- **Impacto em Países em Desenvolvimento:** Custos elevados e prazos longos para a construção de novas linhas de transmissão e subestações, além de perdas significativas na transmissão em redes menos eficientes.
- **Soluções Necessárias:**
  - **Expansão e Modernização da Rede (Smart Grids):** Investimento em linhas de alta capacidade e em redes inteligentes (digitalizadas, com comunicação bidirecional e controle automatizado) para gerenciar o fluxo de energia de forma eficiente, lidar com a intermitência e permitir a geração distribuída.
  - **Fortalecimento da Distribuição:** As redes de distribuição precisam ser adaptadas para lidar com a injeção de energia de pequenos geradores solares (em telhados), o que pode causar sobrecargas e problemas de qualidade de energia se não forem gerenciadas adequadamente.

3. **Flexibilidade do Sistema Elétrico:**

- **Problema:** Uma rede com alta penetração de renováveis precisa ser flexível para compensar as flutuações. Isso significa ter outras fontes que possam ser ligadas/desligadas rapidamente ou ajustar sua geração.
- **Impacto em Países em Desenvolvimento:** Muitos países ainda dependem fortemente de termelétricas inflexíveis ou hidrelétricas que podem não ter capacidade de reservatório para atuar como "baterias hídricas".

- **Soluções Necessárias:**
  - **Geração Despachável Híbrida:** Integração de renováveis com sistemas de armazenamento ou, em alguns casos, com usinas a gás natural (como ponte de transição, com captura de carbono se possível) ou com hidrelétricas flexíveis.
  - **Gerenciamento da Demanda (Demand-Side Management - DSM):** Incentivar ou automatizar o consumo de energia em horários de maior geração renovável (ex: carregamento de veículos elétricos).

4. **Disponibilidade de Tecnologia e Mão de Obra Especializada:**

- **Problema:** Embora o custo dos painéis e turbinas tenha caído, o acesso a tecnologias de ponta e o *know-how* para projetar, instalar e manter sistemas complexos de integração ainda podem ser limitados em alguns países em desenvolvimento.
- **Impacto em Países em Desenvolvimento:** Dependência de importações de tecnologia e de expertise estrangeira, o que pode aumentar custos e limitar o desenvolvimento local.
- **Soluções Necessárias:** Investimento em pesquisa e desenvolvimento local, transferência de tecnologia, programas de capacitação e formação de mão de obra técnica.

Impacto em Países em Desenvolvimento

As **políticas públicas mais eficazes para acelerar a transição energética por meio das fontes renováveis** são aquelas que criam um ambiente estável, previsível e economicamente atrativo para os investimentos, ao mesmo tempo em que endereçam os desafios técnicos e sociais em diferentes contextos geográficos.

Não existe uma solução única que se aplique a todos os países, mas certas categorias de políticas se destacam pela sua eficácia.

Políticas de Incentivo Direto e de Mercado

Essas políticas visam reduzir riscos para investidores e garantir a competitividade das renováveis.

1. **Leilões de Energia de Longo Prazo (Power Purchase Agreements - PPAs):**

- **Mecanismo:** Governos ou empresas distribuidoras realizam leilões competitivos para comprar energia renovável por um período de 15 a 25 anos. Os desenvolvedores de projetos que oferecem os preços mais baixos ganham os contratos.
- **Eficácia:** Altamente eficaz para atrair grandes volumes de investimento e impulsionar a queda de custos. Garante previsibilidade de receita para os investidores, tornando o financiamento mais fácil e barato. Amplamente utilizado no Brasil (leilões de energia nova, leilões de reserva), na Índia, África do Sul e muitos outros países.
- **Contexto Geográfico:** Funciona bem em países com capacidade regulatória para organizar leilões transparentes e robustos.

2. **Tarifas Feed-in (Feed-in Tariffs - FiT) e Feed-in Premiums (FiP):**

- **Mecanismo:** Oferecem um preço fixo garantido por kWh gerado a partir de fontes renováveis por um longo período (FiT) ou um prêmio sobre o preço de mercado (FiP).
- **Eficácia:** Foram cruciais para o *boom* inicial da energia solar na Alemanha (pioneira) e em outros países europeus. Garantem estabilidade de receita, atraindo pequenos e grandes investidores, e ajudam a escalar tecnologias novas.
- **Contexto Geográfico:** Mais eficazes em estágios iniciais de desenvolvimento do mercado, onde o custo das renováveis ainda é mais alto. Em mercados mais maduros, podem se tornar caras e são muitas vezes substituídas por leilões.

3. **Metas de Portfólio Renovável (Renewable Portfolio Standards - RPS):**

- **Mecanismo:** Obriga as concessionárias de energia a obter uma porcentagem crescente de sua eletricidade de fontes renováveis até uma determinada data.
- **Eficácia:** Cria uma demanda de mercado garantida para as renováveis, incentivando a inovação e o investimento para cumprir as metas.
- **Contexto Geográfico:** Comum nos EUA (em nível estadual) e em algumas províncias do Canadá.

4. **Incentivos Fiscais e Financiamento Facilitado:**

- **Mecanismo:** Isenção de impostos (importação, ICMS), créditos fiscais de investimento/produção, linhas de crédito com juros subsidiados ou garantias de empréstimos por bancos de desenvolvimento (como o BNDES no Brasil).
- **Eficácia:** Reduzem os custos iniciais e operacionais dos projetos, tornando-os mais atraentes para investidores e consumidores finais.

Políticas para Integração de Rede e Flexibilidade

Para lidar com a intermitência das renováveis e garantir a estabilidade do sistema, são necessárias políticas que promovam a modernização e a flexibilidade da rede.

1. **Regulamentação para Armazenamento de Energia:**

- **Mecanismo:** Criação de marcos regulatórios que definem como sistemas de armazenamento (baterias) podem ser conectados à rede, como são remunerados por seus serviços (ex: regulação de frequência, suporte de tensão, arbitrarem de preço) e qual o seu papel no planejamento.
- **Eficácia:** Essencial para destravar investimentos em baterias, que são cruciais para a estabilidade da rede com alta penetração de solar e eólica. Países como EUA (especialmente Califórnia), Austrália e Chile estão avançando rapidamente nesta área.

2. **Incentivos para Smart Grids e Digitalização:**

- **Mecanismo:** Apoio ao investimento em tecnologias de redes inteligentes (medidores inteligentes, automação, sensores) e digitalização da infraestrutura elétrica.
- **Eficácia:** Permitem maior visibilidade e controle sobre o fluxo de energia,

otimizando o uso das renováveis e reduzindo perdas, e facilitando a gestão da demanda.

3. **Mercados de Serviços Ancilares e Flexibilidade:**

- **Mecanismo:** Criação de mercados onde geradores, incluindo fontes renováveis e armazenamento, podem oferecer e ser remunerados por serviços que garantem a estabilidade e a qualidade da energia elétrica.
- **Eficácia:** Fornecem sinais de preço para investimentos em flexibilidade e otimização do uso de recursos existentes.

4. **Regulamentação da Geração Distribuída (GD):**

- **Mecanismo:** Políticas como o *net metering* (sistema de compensação de energia), onde a energia gerada por painéis solares em telhados é descontada do consumo da rede.
- **Eficácia:** Popularizou a energia solar residencial e comercial, democratizando o acesso à energia limpa. A Lei 14.300/2022 no Brasil estabeleceu um novo marco para a GD, buscando um equilíbrio entre os benefícios dos geradores e a sustentabilidade da rede.

Políticas Climáticas e de Carbono

Essas políticas criam um incentivo econômico para a descarbonização.

1. **Precificação de Carbono (Carbon Pricing):**

- **Mecanismo:** Impostos sobre o carbono ou sistemas de comércio de emissões (mercado de carbono), que tornam a emissão de GEEs mais cara.
- **Eficácia:** Direciona investimentos para alternativas de baixo carbono, como as renováveis, tornando os combustíveis fósseis menos competitivos. A União Europeia tem um sistema de comércio de emissões (EU ETS) de sucesso. O Brasil está caminhando para implementar seu próprio mercado regulado de carbono.

2. **Metas Nacionais de Redução de Emissões (NDCs) e Descarbonização:**

- **Mecanismo:** Compromissos assumidos pelos países (no âmbito do Acordo de Paris) para reduzir suas emissões.
- **Eficácia:** Fornecem um sinal político forte e uma direção clara para as estratégias energéticas, incentivando a adoção de renováveis para cumprir essas metas.

Políticas de Transição Justa e Inclusiva

Para garantir que a transição seja socialmente aceitável e sustentável a longo prazo.

1. **Requalificação da Mão de Obra:**

- **Mecanismo:** Programas de treinamento e requalificação para trabalhadores de indústrias fósseis para que possam ser absorvidos pelo setor de energias renováveis.
- **Eficácia:** Mitiga impactos sociais negativos e garante uma força de trabalho qualificada para a nova economia energética.

2. **Desenvolvimento Local e Engajamento Comunitário:**

- **Mecanismo:** Políticas que incentivam a participação de comunidades locais nos projetos de energia renovável (ex: cooperativas de energia renovável), e que garantam que os benefícios econômicos dos projetos cheguem às populações impactadas.
- **Eficácia:** Aumenta a aceitação pública dos projetos e garante que a transição seja equitativa.

Contextos Geográficos Diferentes:

- **Países Desenvolvidos:** Tendem a focar mais em mercados de carbono, regulamentação de armazenamento, *smart grids* e integração de alta penetração. Já possuem infraestrutura de rede mais robusta e capacidade regulatória avançada.
- **Países em Desenvolvimento:** Podem se beneficiar mais de leilões de energia de longo prazo, incentivos fiscais diretos, financiamento de bancos de desenvolvimento, e políticas de acesso à energia (off-grid) para eletrificar áreas remotas. Enfrentam desafios maiores de acesso a capital, infraestrutura de rede e capacidade institucional.

A combinação eficaz dessas políticas, adaptadas à realidade de cada contexto geográfico, é o que realmente acelera a transição energética por meio das fontes renováveis, resultando em um futuro mais limpo e próspero.

Um dos pontos mais críticos e estratégicos da transição energética: o papel central das **baterias e sistemas de armazenamento de energia (SAEE)** na otimização da contribuição de fontes renováveis intermitentes como a solar e a eólica.

A intermitência (variabilidade na geração) dessas fontes, embora seja sua principal característica, é também o desafio que os SAEEs resolvem, transformando-a em uma força motriz para um sistema elétrico mais limpo, eficiente e resiliente.

O Problema da Intermitência e o Papel Solucionador dos SAEEs

As energias solar (dependente do sol) e eólica (dependente do vento) não geram eletricidade de forma constante. O sol se põe à noite e o vento pode diminuir, enquanto a demanda por eletricidade pode ser alta nesses períodos. Essa **desconexão entre oferta e demanda** gera desafios para a estabilidade da rede elétrica e limita o quanto de energia renovável pode ser integrada.

É aqui que os **Sistemas de Armazenamento de Energia (SAEEs)**, com destaque para as baterias de íon-lítio, se tornam indispensáveis. Eles atuam como um "buffer" ou "amortecedor" energético, oferecendo a **flexibilidade** necessária para harmonizar a geração intermitente com a demanda variável.

Como as Baterias Otimizam a Contribuição das Renováveis:

Os SAEEs proporcionam múltiplos benefícios e serviços que otimizam a contribuição da energia solar e eólica:

1. **Armazenamento de Excedentes e Deslocamento no Tempo (Time-Shifting):**

- **Mecanismo:** Capturam o excesso de energia gerado por solar (no meio do dia) ou eólica (muitas vezes à noite, quando o vento é mais forte) quando a demanda é baixa ou a geração excede o consumo. Essa energia é então liberada quando a demanda é alta e/ou a geração renovável é baixa (ex: fim de tarde, pico noturno).
- **Otimização:** Isso maximiza o uso da energia renovável produzida, evitando o "curtailment" (desperdício de energia que não pode ser usada ou exportada) e reduzindo a necessidade de acionar termelétricas fósseis caras e poluentes para suprir a demanda em horários de pico ou de baixa renovável. **É a principal contribuição para a redução de GEEs.**

2. **Estabilização da Rede Elétrica (Serviços Ancilares):**

- **Mecanismo:** Baterias podem responder em milissegundos para injetar ou absorver energia da rede, mantendo a frequência e a tensão dentro dos limites operacionais. Isso é crucial quando a geração de solar/eólica varia rapidamente.
- **Otimização:** Ajudam a manter a **confiabilidade e a qualidade** do fornecimento de energia, mesmo com grandes volumes de fontes intermitentes. Isso permite que mais usinas solares e eólicas sejam conectadas à rede sem comprometer sua estabilidade.

3. **Redução de Custos de Operação da Rede:**

- **Mecanismo:** Ao armazenar energia renovável barata e liberá-la em horários de pico (quando a energia da rede é mais cara), as baterias ajudam a reduzir os custos operacionais totais do sistema. Também podem adiar ou evitar a necessidade de investimentos caros em infraestrutura de transmissão e distribuição (alívio de congestionamento).
- **Otimização:** Torna a integração de renováveis mais **economicamente viável**, incentivando ainda mais seu crescimento e, consequentemente, a redução de GEEs.

4. **Aumento da Resiliência e Segurança Energética:**

- **Mecanismo:** Podem fornecer energia de *backup* em caso de interrupções na rede (apagões), operando como micro-redes em áreas isoladas ou em comunidades.
- **Otimização:** Aumenta a **confiabilidade** do suprimento de energia para consumidores críticos e para a população em geral, tornando a transição para renováveis mais atraente e segura.

5. **Apoio à Black Start e Despacho de Potência:**

- **Mecanismo:** Baterias podem fornecer energia para reiniciar partes da rede após um apagão total (black start), e podem ser despachadas para atender necessidades específicas de potência, em conjunto com termelétricas mais lentas.
- **Otimização:** Contribuem para a **capacidade de resposta** e a **agilidade** do sistema elétrico, essenciais em um futuro com alta penetração de fontes variáveis.

5. TIPOS DE SAEES E SUAS APLICAÇÕES:

Embora as baterias de íon-lítio sejam as mais difundidas hoje para aplicações de curta e média duração, outras tecnologias de armazenamento também desempenham um papel:

- **Baterias de Íon-Lítio:** Dominantes para serviços de estabilização rápida da rede e *time-shifting* diário.
- **Baterias de Fluxo:** Mais adequadas para armazenamento de longa duração (várias horas a dias), com maior escalabilidade em energia.
- **Hidrelétricas Reversíveis (PHES):** Armazenamento em larga escala comprovado, bombear água para reservatórios mais altos em momentos de excedente de energia e liberá-la para gerar eletricidade em momentos de necessidade. Funcionam como "grandes baterias hídricas".
- **Armazenamento por Ar Comprimido (CAES):** Armazena energia na forma de ar comprimido em cavernas subterrâneas.
- **Hidrogênio Verde:** Produção de hidrogênio por eletrólise usando energia renovável excedente. O hidrogênio pode ser armazenado e usado como combustível para gerar eletricidade posteriormente (via células a combustível ou turbinas a gás adaptadas) ou em outros setores. Promissor para armazenamento de energia em escala sazonal.

Face ao exposto, pode-se considerar que, as baterias e SAEEs não são apenas coadjuvantes, mas **habilitadoras essenciais** para a transição energética. Elas transformam a energia solar e eólica intermitente em uma fonte de energia mais confiável e despachável, maximizando sua contribuição para a redução de GEEs.

À medida que os custos dessas tecnologias continuam a cair e os marcos regulatórios se desenvolvem para remunerar seus serviços, o papel dos SAEEs na otimização da integração das renováveis se tornará ainda mais proeminente, acelerando a descarbonização da matriz elétrica global.

A dependência da energia fotovoltaica e eólica em relação a **baterias** e à **rede elétrica** devido à sua natureza **sazonal/intermitente** é crucial. Esse é um dos maiores desafios e, ao mesmo tempo, um motor de inovação na transição energética.

A Intermitência das Renováveis: Um Desafio e uma Oportunidade

A energia solar e a eólica são, por natureza, **variáveis e intermitentes**. A solar só gera durante o dia e varia com a nebulosidade; a eólica depende da velocidade e direção do vento. Isso cria um descompasso entre a geração e a demanda de energia. Sem soluções para gerenciar essa variabilidade, a estabilidade da rede elétrica é comprometida, e o potencial de redução de GEEs dessas fontes não pode ser totalmente aproveitado.

É aqui que entram as baterias e a rede elétrica, em conjunto com outras tecnologias e estratégias.

O Papel Fundamental das Baterias (Sistemas de Armazenamento de Energia - SAEE)

As **baterias** (ou sistemas de armazenamento de energia em baterias - BESS, do inglês *Battery Energy Storage Systems*) são a solução mais proeminente e de rápido crescimento para lidar com a intermitência.

Sinergia entre as tecnologias (solar, eólica, baterias, rede).

A **sinergia entre as tecnologias (solar, eólica, baterias, rede elétrica)** é, de fato, o coração da transição energética moderna. Não basta ter energia solar e eólica em abundância; a forma como elas se integram e interagem com o sistema elétrico define o sucesso da descarbonização.

Imagine o sistema elétrico como um grande organismo vivo, onde cada órgão (tecnologia) precisa trabalhar em harmonia para que o corpo (rede) funcione de forma eficiente e estável.

Por que a Sinergia é Essencial?

A energia solar e eólica são **variáveis e intermitentes**, ou seja, geram eletricidade quando o sol brilha ou o vento sopra. Isso cria um desafio fundamental: a demanda por eletricidade nem sempre coincide com a geração dessas fontes.

É aqui que a sinergia entra em cena, transformando o desafio em oportunidade. As tecnologias de **armazenamento (baterias)** e uma **rede elétrica inteligente e flexível** atuam como complementos indispensáveis, permitindo que a energia renovável seja aproveitada ao máximo e entregue de forma confiável.

Os Papéis de Cada Componente na Sinergia

Vamos detalhar como cada peça se encaixa nesse quebra-cabeça energético:

1. **Energia Solar e Eólica: Os Motores da Geração Limpa**

- **O que trazem:** São as fontes primárias de energia limpa, com zero emissões de gases de efeito estufa (GEE) durante a operação. Seus custos de instalação têm caído drasticamente, tornando-as economicamente competitivas.
- **O desafio que impõem:** A já mencionada intermitência e variabilidade. Quando o sol se põe ou o vento acalma, a geração cai, mas a demanda por eletricidade pode permanecer alta.

2. **Baterias (Sistemas de Armazenamento de Energia): Os Equilibradores Instantâneos**

- **O que trazem:** As baterias são os **"pulmões"** e os **"reservatórios"** do sistema.

  Elas permitem que a energia gerada em excesso em um momento (por exemplo, pico de sol ao meio-dia) seja armazenada e liberada quando a demanda é maior ou a geração renovável é baixa (por exemplo, à noite ou em dias sem vento).
- **Como complementam solar/eólica:**
  - **Estabilização da Rede:** Fornecem ou absorvem energia em milissegundos, corrigindo flutuações rápidas na geração solar/eólica e mantendo a frequência e tensão da rede estáveis.
  - **Deslocamento de Picos:** Reduzem a necessidade de ligar termelétricas fósseis caras e poluentes durante os picos de demanda.
  - **Otimização do Ativo:** Maximizam o uso da energia renovável, evitando o desperdício (o "curtailment" ou corte de geração) e aumentando a receita das

usinas solares/eólicas.

- **Geração Despachável:** Transformam a energia renovável intermitente em algo mais próximo de uma fonte despachável (que pode ser ligada/desligada conforme a necessidade).

3. **A Rede Elétrica (e sua Evolução para Smart Grids): O Sistema Nervoso Inteligente**

- **O que traz:** É a infraestrutura que conecta todas as fontes de geração aos consumidores. Tradicionalmente, era um sistema unidirecional, da usina para a casa.
- **A necessidade de evolução:** Para lidar com as renováveis, a rede precisa ser **bidirecional** e muito mais **inteligente** (as "Smart Grids").
- **Como complementa solar/eólica e baterias:**
  - **Monitoramento e Controle Avançado:** Sensores e sistemas digitais permitem que os operadores da rede saibam exatamente o quanto de energia está sendo gerado e consumido em tempo real, em cada ponto do sistema.
  - **Previsão Robusta:** Usam dados meteorológicos e algoritmos avançados para prever a geração de solar e eólica com maior precisão, permitindo um planejamento antecipado.
  - **Gerenciamento da Demanda (Demand-Side Management - DSM):** Incentiva ou automatiza o consumo de energia em momentos de alta geração renovável (ex: carregar veículos elétricos quando o sol está forte).
  - **Interconexões Regionais:** Conecta diferentes regiões, aproveitando a diversidade geográfica. Se não há vento em uma área, pode haver em outra, ou sol. Isso "suaviza" a intermitência em uma escala maior.
  - **Roteamento Inteligente:** Direciona a energia de forma mais eficiente, evitando congestionamentos e perdas.
  -

A Sinergia em Ação: O Ecossistema Energético do Futuro

A verdadeira beleza da sinergia reside em como esses componentes trabalham juntos:

1. **Geração:** Usinas solares e parques eólicos geram eletricidade limpa.
2. **Armazenamento:** Em momentos de excesso de geração, as baterias armazenam essa energia. Em momentos de baixa geração ou alta demanda, elas liberam a energia armazenada.
3. **Rede Inteligente:** A *smart grid* atua como o maestro, orquestrando o fluxo de energia. Ela sabe quando há excesso de renovável para direcionar às baterias, quando é preciso acionar o armazenamento, quando o consumo pode ser ajustado para otimizar o uso da energia limpa, e como balancear tudo para manter o sistema estável.
4. **Recursos Complementares:** Outras fontes de energia despacháveis e flexíveis, como usinas hidrelétricas com reservatórios (quando disponíveis) ou até mesmo o hidrogênio verde (em desenvolvimento), podem ser integradas à rede para fornecer flexibilidade adicional e *backup*.

Portanto, é um Futuro Energético Resiliente e Descarbonizado

Essa sinergia não é apenas uma ideia; é a realidade para a qual os sistemas energéticos do mundo estão caminhando. Ao integrar solar, eólica, baterias e uma rede inteligente, podemos:

- **Maximizar a Redução de GEEs:** Garantindo que a energia renovável seja utilizada em sua capacidade máxima, substituindo as fontes fósseis.
- **Aumentar a Confiabilidade e Resiliência:** Um sistema diversificado e flexível é menos suscetível a falhas.
- **Otimizar Custos:** Embora exija investimentos, a otimização da rede e do armazenamento pode reduzir os custos operacionais a longo prazo e o desperdício de energia.

É um cenário complexo, mas com um potencial imenso para construir um futuro energético sustentável e robusto.

Observação: este conteúdo contou com a ajuda de serviços de IA durante a criação

6. CONCLUSÃO

A transição energética, impulsionada pela adoção massiva das energias solar e eólica, é um pilar crucial para a **redução de gases de efeito estufa (GEEs)** e a construção de um futuro sustentável. A contribuição dessas fontes de energia vai muito além da simples

substituição de combustíveis fósseis; ela cria um novo paradigma de produção e consumo de energia.

Essa transição oferece uma **dupla vitória**, unindo benefícios ambientais e econômicos de forma indissociável. No plano ambiental, o crescimento exponencial da capacidade solar e eólica é a principal ferramenta para a **descarbonização da matriz elétrica**, preservando recursos finitos como carvão, petróleo e gás natural. Esses recursos podem, então, ser direcionados para usos mais estratégicos, como matéria-prima para a indústria química, ou serem conservados para futuras gerações.

Do ponto de vista econômico, a transição para renováveis impulsiona o **desenvolvimento sustentável**. Ela gera empregos, atrai investimentos e otimiza custos a longo prazo, protegendo as economias da volatilidade dos preços dos combustíveis fósseis.

A chave para desbloquear todo esse potencial reside na **sinergia entre tecnologias**. Baterias e outros sistemas de armazenamento de energia (SAEEs) atuam como habilitadores essenciais, transformando a natureza intermitente da energia solar e eólica em uma fonte de energia mais confiável e despachável. Quando integradas a uma rede elétrica inteligente e flexível, essas tecnologias maximizam a utilização da energia renovável, garantindo a confiabilidade e a resiliência do sistema e, consequentemente, acelerando a redução das emissões de GEEs.

Em suma, embora complexo, o cenário da transição energética é repleto de um potencial imenso. É uma mudança que beneficia tanto a saúde do nosso planeta quanto a prosperidade humana, pavimentando o caminho para um futuro energético descarbonizado, robusto e resiliente.

REFERÊNCIAS

[1] **IEA (Agência Internacional de Energia).** *Renewables 2023: Analysis and forecast to 2028*. Paris: IEA, 2023. Disponível em: https://www.iea.org/reports/renewables-2023. Acesso em: 18/08/2025.

[2] **IEA (Agência Internacional de Energia).** *World Energy Outlook 2023*. Paris: IEA, 2023. Disponível em: https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023. Acesso em: 18/08/2025.

[3] **IRENA (Agência Internacional de Energia Renovável).** *World Energy Transitions Outlook 2023: 1.5 °C Pathway*. Abu Dhabi: IRENA, 2023. Disponível em: https://www.irena.org/Publications/2023/Jun/World-Energy-Transitions-Outlook-2023 . Acesso em: 18 ago. 2025.

[4] CANAL SOLAR. **Energia solar já evitou 50 milhões de toneladas de CO2 no Brasil**. Canal Solar, 2 jul. 2024. Disponível em: https://canalsolar.com.br/energia-solar-evita-poluicao-brasil/. Acesso em: 18 ago. 2025.

[5] ABEEÓLICA. **INFOVENTO #35**. São Paulo: ABEEÓLICA, out. 2024. Disponível em: https://abeeolica.org.br/abeeolica-publica-o-boletim-anual-2024-com-desta ques-do-setor-e-perspectivas-para-o-futuro/#:~:text=Em%202024%20tamb%C3%A9m%20foi%20o,Acesse%20o%20boletim%20aqui. Acesso em: 18 ago. 2025

Capítulo 3

Produção sustentável de ésteres de solketila por hidroesterificação enzimática do óleo de fritura em meio isento de solventes orgânicos

Nalanda Ribeiro Mendes de Melo
Kiara Faria de Assis
José Miguel Júnior
Luiz Fernando Gorup
Adriano Aguiar Mendes

Resumo: Este estudo teve como objetivo principal a produção de ésteres de solketila, uma classe de ésteres com propriedades plastificantes, por hidroesterificação enzimática do óleo de soja residual (fritura). Este processo consistiu na conversão do óleo em ácidos graxos livres (AGLs) por hidrólise catalisada pela lipase de *Candida rugosa* (LCR) em sistema isento de emulsificantes e agentes tamponantes, seguido da esterificação direta dos AGLs obtidos com solketal em sistema isento de solventes. Nessa segunda etapa, a lipase Eversa® Transform 2.0 (ET2.0) imobilizada por adsorção física em partículas pré-tratadas do epicarpo (casca) da macaúba (*Acrocomia aculeata*), um resíduo lignocelulósico, foi empregada como biocatalisador. O seu desempenho catalítico foi comparado com a sua forma livre (lipase solúvel). A lipase foi imobilizada em pH 5,0 (tampão acetato de sódio – 5 mmol/L) a 25°C por 15 h de contato. Nestas condições, a concentração de proteína imobilizada foi de 25,2 ± 1,3 mg/g empregando um carregamento inicial de proteína de 40 mg/g de suporte, cerca de 5 vezes maior que a proteína imobilizada no suporte não tratado (da ordem de 5 mg/g de suporte). Máxima porcentagem de conversão de 58% foi alcançada após 90 min de reação conduzida a 60°C empregando razão molar AGLs:solketal de 1:1,6 e 17% em massa de ET2.0 imobilizada. Nestas mesmas condições, máxima conversão obtida para a lipase livre (forma solúvel) foi de apenas 42,3% após 30 min de reação. Testes de reuso mostraram que a lipase imobilizada reteve 74% de sua atividade inicial após seis bateladas consecutivas de esterificação. Estes resultados mostram claramente que o processo de imobilização empregando um resíduo agroindustrial como suporte (partículas pré-tratadas do epicarpo da macaúba) melhorou a atividade catalítica e a estabilidade operacional (reuso) de ET2.0 após sucessivas bateladas de reação em meio orgânico.

Palavras-chave: Ésteres de solketila, Óleo de fritura, Lipase, Hidroesterificação.

1. INTRODUÇÃO

Ésteres de solketila constituem uma relevante classe de compostos químicos amplamente empregados como aditivos em combustíveis (Barbosa et al., 2019; Mariam et al., 2022), emulsificantes (Villa et al., 2020), e plastificantes (Lee et al., 2023). Tradicionalmente, a sua produção ocorre por reações de esterificação e/ou transesterificação utilizando catalisadores químicos convencionais de natureza ácida ou básica (Mariam et al., 2022; Neamtu et al., 2019; Perosa et al., 2016; Sultanova et al., 2023; Yang et al., 2014). De um modo geral, esses processos são conduzidos em condições severas, com temperaturas elevadas (acima de 90°C) e a utilização de grandes volumes de solventes orgânicos tóxicos a fim de alcançar altos rendimentos (Mariam et al., 2022; Neamtu et al., 2019; Yang et al., 2014).

Nesse contexto, a aplicação de lipases como catalisadores surge como uma alternativa atrativa à rota química convencional, uma vez que atuam em condições brandas, reduzindo a demanda energética e apresentando alta especificidade e seletividade, o que diminui a formação de subprodutos indesejáveis. Além disso, o uso de lipases contribui para a minimização da geração de resíduos e simplificação das etapas de separação e purificação dos produtos (Sousa et al., 2021; Stergiou et al., 2013).

As lipases (triacilglicerol acilhidrolases, EC 3.1.1.3) são enzimas que pertencem à família das serinas hidrolases que catalisam a hidrólise de óleos e gorduras em glicerol e ácidos graxos livres na interface óleo-água. Em meio orgânico, essas enzimas também catalisam reações de esterificação, transesterificação, interesterificação e acidólise para a produção de uma grande variedade de ésteres de interesse industrial tanto nas formas livre (formulações em pó ou líquidas) quanto imobilizadas em distintos suportes (Bolina et al., 2021; Monteiro et al., 2021; Sousa et al., 2021; Stergiou et al., 2013). Na maioria dos estudos relatados na literatura, ainda emprega sistemas contendo solventes orgânicos para aumentar a solubilidade dos reagentes e reduzir a viscosidade do meio para favorecer os processos de transferência de massa dos reagentes ao microambiente da enzima (Boncel et al., 2023; Johny et al., 2019; Mine et al., 2005; Romano et al., 20026; Villa et al., 2020). Entretanto, a adoção de processos isentos de solventes tem despertado crescente interesse por possibilitar o desenvolvimento de processos mais sustentáveis e ambientalmente corretos (Bolina et al, 2021; Sousa et al., 2021). Estes processos oferecem diversas vantagens como o aumento da produtividade volumétrica (sistemas reacionais contendo apenas matérias-primas), menor demanda e custos de energia nas etapas de separação e purificação dos produtos e minimização da geração de resíduos (Sousa et al., 2021).

A aplicação de lipases como biocatalisadores em reações de síntese orgânica tem sido preferencialmente realizada na forma imobilizada. Estas enzimas têm sido imobilizadas em uma variedade de suportes naturais e sintéticos (materiais orgânicos, inorgânicos e híbridos) utilizando diferentes estratégias que envolvem interações físicas e/ou químicas (Bolivar et al., 2022). Dentre os diferentes protocolos, a imobilização pelo mecanismo de ativação interfacial (adsorção física por interações hidrofóbicas em baixa força iônica) é a técnica mais comumente utilizada. Este método permite a simultânea imobilização, purificação, estabilização e hiperativação de lipases em sua conformação aberta na superfície dos suportes (Bolivar et al., 2022; Rodrigues et al., 2019).

Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo o desenvolvimento de um processo sustentável para a produção de ésteres de solketila a partir de óleo de fritura residual (óleo de soja usado) por hidroesterificação, explorando as potencialidades catalíticas de

diferentes lipases em cada etapa do processo. Essa estratégia foi adotada com o intuito de superar limitações associadas à transesterificação direta de óleos vegetais e/ou residuais com álcoois, a qual, frequentemente, demanda longos tempos reacionais e temperaturas elevadas para viabilizar a difusão dos reagentes até o microambiente ativo das lipases imobilizadas (Bolina et al., 2021).

Na primeira etapa do processo, realizou-se a hidrólise completa do óleo em ácidos graxos livres (AGLs) catalisada pela lipase comercial não específica de *Candida rugosa* – LCR (Carvalho et al., 2021). Em seguida, os AGLs obtidos foram empregados na reação de esterificação com solketal em sistema isento de solventes. Nesta etapa, foi utilizada a lipase Eversa® Transform 2.0 (ET2.0), uma preparação enzimática de baixo custo que possui elevada atividade catalítica e estabilidade em reações de síntese orgânica. Esta lipase é derivada do fungo *Thermomyces lanuginosus* expressa heterologamente em *Aspergillus oryzae* (Monteiro et al., 2021). Para esta etapa, a lipase ET2.0 foi imobilizada por adsorção física em partículas do epicarpo de *Acrocomia aculeata* (macaúba).

A macaúba (Figura 1A) é uma palmeira nativa de florestas tropicais e savanas da América Central e do Sul, com produtividade de óleo (polpa e amêndoa) acima de 6 toneladas por hectare (Ampese et al., 2021; Lopes et al., 2013; Silva et al., 2016). Essa oleaginosa tem sido considerada uma promissora produtora de óleos para a produção de biodiesel e bioquerosene para aviação (Lopes et al., 2013; Silva et al., 2016). No entanto, o seu processamento produz uma grande quantidade de resíduos. Portanto, este estudo consiste no uso do epicarpo da macaúba (Figura 1B) gerado no processo de extração do óleo como um suporte renovável e ecológico para imobilizar ET2.0. A utilização deste material para a imobilização de lipases ainda é muito pouco explorada pela literatura.

Figura 1: Ilustração da macaúba (A) e dos frutos (B), em destaque o epicarpo

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. MATERIAIS

Lipase Eversa® Transform 2.0 (ET2.0), uma formulação enzimática solúvel contendo 35 mg de proteína por mL de solução, e lipase de *Candida rugosa* (LCR), uma preparação enzimática na forma em pó contendo 24,5 mg de proteína por g de sólido, foram adquiridas da Sigma–Aldrich Co. (St. Louis, MO, EUA). Frutos da macaúba foram coletados no Bioma Cerrado na Universidade Federal de São João del-Rei – *Campus* Sete Lagoas (Sete Lagoas, MG). O óleo de soja usado em fritura foi obtido em um restaurante de *fast-food* em Alfenas, MG. Solketal (isopropilideno glicerol ou 2,2-Dimetil1,3-dioxolan-4-il) metanol) foi também adquirido da Sigma-Aldrich. Todos os outros reagentes químicos foram de grau analítico adquiridos da Synth® (São Paulo, SP, Brasil).

2.2. PREPARAÇÃO DO SUPORTE

O processo de preparação do suporte é descrito em detalhe em um estudo recente conduzido em nosso grupo de pesquisa (Miguel Júnior et al., 2024). Partículas do epicarpo de macaúba foram obtidas por remoção manual das cascas do fruto, seguido de trituração em moinho de facas e classificação do tamanho de partículas em sistemas de peneiras rotativas. O material obtido com distribuição de tamanho de partícula entre 75 e 120 µm foi recuperado. 30 g deste material foram refluxados duas vezes em 400 mL de solução de ácido clorídrico (3,5% m/m – proporção HCl:água de 1:9 por 2 h a 120°C). O material obtido foi lavado duas vezes com água destilada (relação suporte:água de 1:5) e, em seguida, imerso 2 vezes consecutivas em 100 mL de solução de etanol a 70% m/m com contínua agitação mecânica (200 rpm) em incubadora rotativa com controle de temperatura (25°C). Finalmente, o material pré-tratado foi lavado com água destilada (relação suporte:água de 1:5), seco em estufa a 25°C e utilizado como suporte.

Os materiais obtidos (partículas não tratadas e pré-tratadas) foram caracterizados por microscopia eletrônica de varredura (MEV) empregando um microscópio FEG-SEM modelo a Zeiss Supra 35VP operado a 20 keV. As imagens foram registradas com diferentes ampliações variando de 23 a 188 vezes.

2.3. PROCESSO DE IMOBILIZAÇÃO DE ET2.0 POR ADSORÇÃO FÍSICA (INTERAÇÃO HIDROFÓBICA)

A imobilização por adsorção física de ET2.0 foi conduzida em tampão fosfato de sódio pH 5,0 (força iônica de 5 mmol/L) na relação suporte: solução enzimática de 1:20 empregando um carregamento inicial de proteína de 40 mg/g de suporte (Alves et al., 2017; Carvalho et al., 2021). O processo de imobilização foi acompanhado pela determinação da concentração de proteína desaparecida no sobrenadante de imobilização pelo método de Bradford (Bradford, 1976). Neste estudo, o desempenho de imobilização do suporte pré-tratado foi comparado com o suporte não tratado (material obtido após o processo de classificação de tamanho de partículas por peneiras rotativas).

2.4. PRODUÇÃO DOS ÉSTERES PELO PROCESSO DE HIDROESTERIFICAÇÃO ENZIMÁTICA

A hidrólise enzimática do óleo de soja usado para a produção de AGLs foi realizada conforme metodologia descrita por Carvalho et al. (2021). 50 g de meio reacional contendo apenas água destilada e óleo vegetal na proporção de 40% em massa foram adicionados em frascos com capacidade de 250 mL e mantidos em constante agitação mecânica (1500 rpm) a 40°C. Após o equilíbrio da temperatura no sistema de reação (cerca de 15 min), foram adicionados 3,2 g/L da formulação enzimática LCR na forma em pó. Ao final de 3 h de reação, tempo mínimo necessário para a completa conversão do óleo em uma mistura de AGLs, o sistema reacional foi transferido para um funil de separação (capacidade de 100 mL) para a recuperação dos AGLs produzidos. A parte inferior (fase aquosa) foi descartada e a parte superior foi lavada 5 vezes com água destilada a 50°C (proporção volumétrica 1:1) para a remoção de glicerol residual. Os AGLs obtidos foram empregados como matéria-prima na esterificação.

As reações de esterificação direta dos AGLs obtidos na etapa de hidrólise e solketal foram realizadas em meios isentos de solventes orgânicos catalisadas por ET2.0 livre (forma solúvel) e imobilizada em partículas pré-tratadas de epicarpo de macaúba. As reações foram realizadas em frascos abertos (evaporação da água gerada na reação à pressão atmosférica) contendo 6 g de meio reacional, preparados na razão molar AGLs:solketal de 1:1,6, 240 rpm, 60°C e 17% em massa de lipase imobilizada que corresponde a uma concentração de proteína de 4,28 mg de proteína por grama de mistura reacional (Miguel Júnior et al., 2024). A lipase solúvel (livre) foi também usada como catalisador empregando a mesma concentração de proteína (0,78 mL da formulação líquida que também corresponde a 4,28 mg de proteína por grama de meio de reação). Amostras do meio reacional (50 µL) foram periodicamente retiradas e diluídas em etanol hidratado (95% m/m) para a determinação do consumo de AGLs na reação por titulação com solução de NaOH 40 mmol/L, empregando fenolftaleína como indicador. Este procedimento foi necessário para a determinação da porcentagem de conversão dos AGLs em ésteres – Y (%), como mostrado na Eq. 1 (Alves et al., 2017):

$$Y\ (\%) = \left(\frac{AGL_0 - AGL_t}{AGL_0}\right) \times 100 \qquad (1)$$

Em que: AGL_0 e AGL_t são respectivamente as concentrações inicial e residual de AGLs no meio reacional (mol/L).

2.5. TESTES DE REUSO DE ET2.0 IMOBILIZADA APÓS SUCESSIVAS BATELADAS DE REAÇÃO

Testes de reuso da lipase ET2.0 imobilizada após consecutivas bateladas de reação de esterificação foram conduzidos nas mesmas condições reacionais reportadas acima. Ao final de cada batelada, a lipase imobilizada foi recuperada por filtração em funil de Buchner e lavada com hexano gelado (4°C) para a remoção de matérias-primas residuais (não convertidas) e/ou produtos retidos no seu microambiente. A lipase imobilizada lavada e recuperada, foi armazenada em recipiente aberto e mantida a 5°C por 24 h para ser reutilizada em nova batelada. Em seguida, a lipase imobilizada foi introduzida em um novo meio, na qual foi determinada a porcentagem de conversão, conforme conforme descrito na Equação (1), por seis bateladas consecutivas bateladas de reação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste estudo, partículas de epicarpo de macaúba não tratadas foram inicialmente avaliadas como suporte de imobilização de ET2.0. Entretanto, uma máxima concentração de lipase adsorvida, expressa em concentração de proteína, da ordem de 5 mg por grama de suporte foi obtida (cerca de 12,5% da concentração inicial de proteína oferecida – 40 mg por grama de suporte). Esta baixa capacidade de adsorção de ET2.0 se deve à possível liberação de extrativos existentes na composição do resíduo agroindustrial (epicarpo da macaúba) que resultou em um aumento da turbidez do sistema de imobilização, aumentando a viscosidade que restringiu o acesso de moléculas da enzima ao microambiente do suporte. Dessa forma, etapas de pré-tratamentos eficientes foram adotadas para fornecer um material com melhores características para a imobilização da lipase (Bijoy et al., 2022). Neste estudo, a influência dos métodos de pré-tratamento na morfologia do suporte foi avaliada por MEV e comparada com sua forma não tratada.

As imagens de microscopia das partículas do epicarpo da macaúba não tratada (Figura 2(A1)) e tratada (Figura 2(B1)) apresentam uma estrutura irregular. Estas imagens obtidas para o material não tratado (Figuras 2(A2) e 2(A3)) revelam uma superfície mais lisa e altamente ordenada se comparado com o material pré-tratado (Figuras 2(B2) e 2(B3)). As etapas de pré-tratamento adotas possibilitaram a formação de uma estrutura mais porosa devido à possível clivagem e/ou remoção parcial de frações de hemicelulose e/ou lignina e extrativos do material, o que pode favorecer o processo de imobilização (melhor difusão de moléculas de lipase à estrutura interna do material obtido). De fato, a adoção do processo de pré-tratamento elevou 5 vezes a sua capacidade de adsorção de ET2.0 (25,2 ± 1,3 mg de proteína imobilizada por grama de suporte) quando comparada com o suporte não tratado (≤5 mg/g). Isto mostra que 62,5% da proteína inicialmente oferecida no processo foi imobilizada no material pré-tratado. Estes resultados mostram que a etapa de pré-tratamento das partículas do epicarpo da macaúba foi de crucial importância para a obtenção de uma lipase imobilizada com alta retenção de proteína.

Figura 2. Imagens de microscopia eletrônica de varredura das partículas de epicarpo não tratadas (A1, A2, A3) e pré-tratadas (B1, B2, B3) com diferentes ampliações

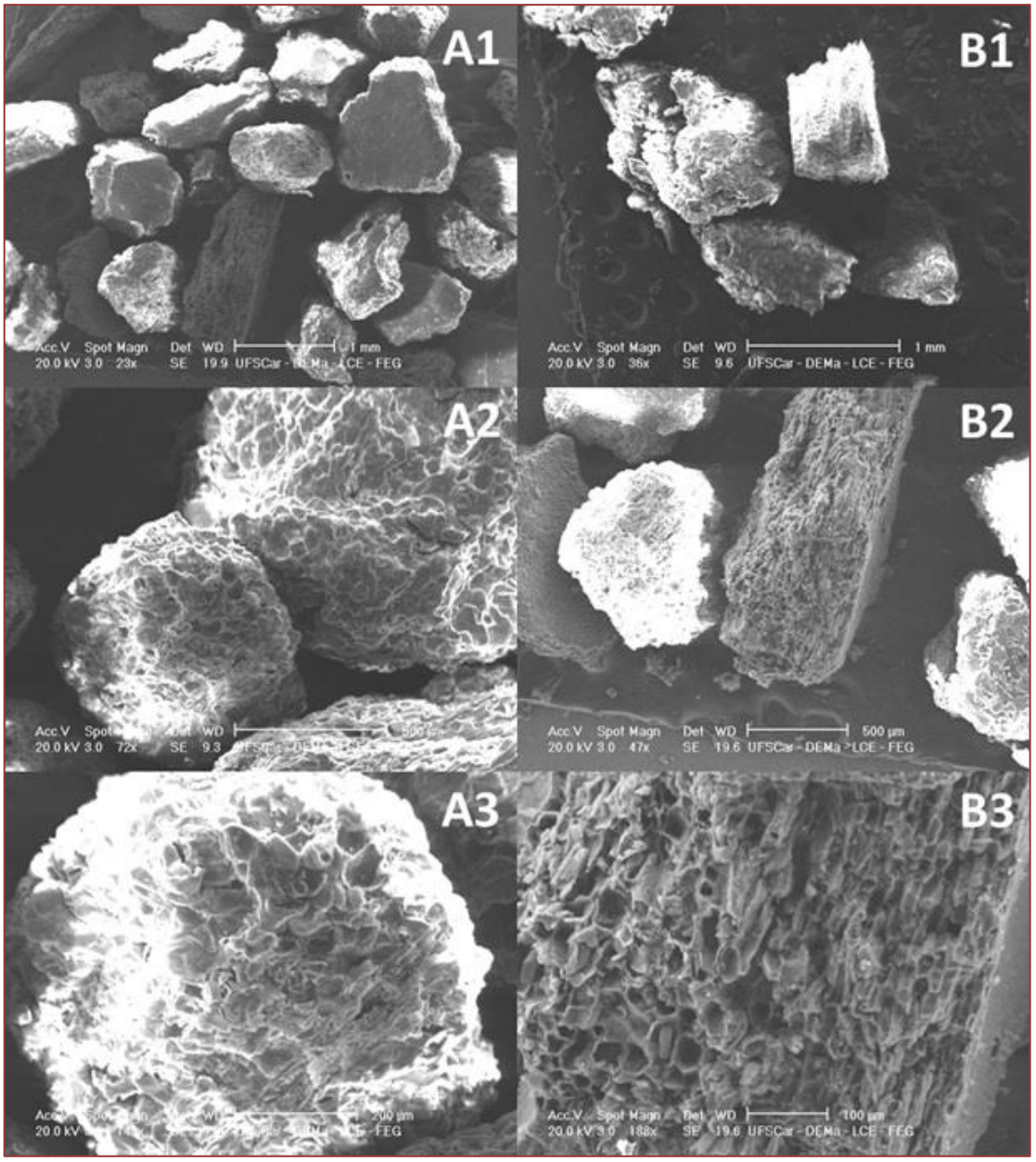
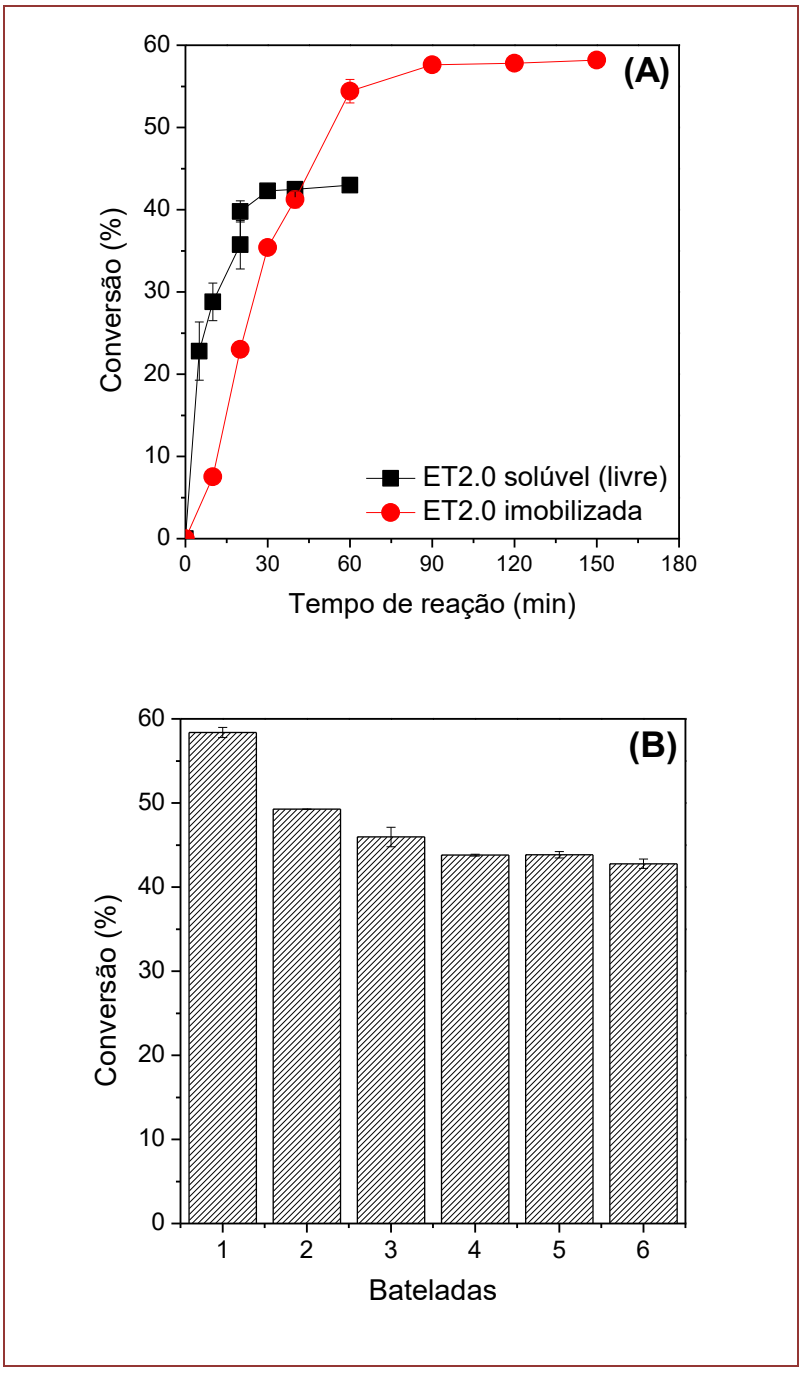


Figura 3. Efeito do tempo de reação na produção de ésteres de solketila por esterificação enzimática catalisada por ET2.0 nas formas livre e imobilizada em partículas pré-tratadas do epicarpo da macaúba (A) e testes de reuso de ET2.0 imobilizada após sucessivas bateladas de esterificação em meio isento de solventes (B)



De acordo com a Figura 3(A), perfis lineares de produção dos ésteres podem ser observados para ambos os biocatalisadores testados. Conforme pode ser observado, a lipase livre (solúvel) apresentou a maior velocidade inicial de reação devido ao rápido acesso dos materiais de partida (solketal e AGLs) aos seus sítios ativos. Por outro lado, a menor velocidade inicial de reação para ET2.0 imobilizada mostra que a difusão interna de moléculas dos materiais de partida nos poros do biocatalisador heterogêneo preparado (lipase imobilizada) foi a etapa controladora da reação. Estes resultados

mostram que a lipase ET2.0 foi preferencialmente adsorvida na superfície interna do material pré-tratado, na qual corrobora com as imagens de MEV que mostram claramente a formação de um material mais poroso após o processo de pré-tratamento adotado que favorece a imobilização da enzima na sua superfície interna.

De acordo com os resultados ilustrados na Figura 3(A), a máxima conversão de AGLs da ordem de 58% foi obtida após 90 min de reação catalisada pela lipase imobilizada, enquanto a lipase livre foi de apenas 42,3% após 30 min de reação. Esses resultados confirmam que o processo de imobilização foi fundamental para aumentar o desempenho catalítico de ET2.0 em meio orgânico. Como esperado, a imobilização da lipase melhora a sua dispersão na superfície do suporte preparado que, consequentemente, facilita o acesso das moléculas da matéria-prima aos seus sítios ativos, o que é consistente com estudos anteriores (Carvalho et al., 2021; Miguel Júnior et al., 2024).

A estabilidade operacional (testes de reuso) da lipase imobilizada após seis sucessivas bateladas de esterificação foi também avaliada empregando razão molar AGLs:solketal de 1:1,6, contínua agitação orbital de 240 rpm, 60°C e 17% em massa de lipase imobilizada (ou 4,28 mg de proteína imobilizada por grama de mistura reacional) por 90 min de contato. De acordo com a Figura 3(B), a lipase imobilizada apresentou uma ligeira redução do seu desempenho catalítico após as três primeiras bateladas de reação e este valor permaneceu constante até a sexta batelada (valores de conversão de AGLs em torno de 43% após 90 min de reação). Este valor de conversão obtida no sexto reuso corresponde a 74% de sua atividade inicial (conversão de AGLs de 58% na primeira batelada – Figura 3(A)). Esta redução de atividade catalítica após consecutivas bateladas de reação pode ser atribuída à uma possível inativação térmica de algumas moléculas de lipase preferencialmente adsorvidas na superfície externa do suporte, bem como o acúmulo de moléculas de materiais de partida (AGLs e solketal) não convertidos e/ou produtos (ésteres de solketila e moléculas de água) em seu microambiente que podem alterar a estrutura tridimensional da enzima – efeitos de inibição (Carvalho et al., 2021; Miguel Júnior et al., 2024; Villa et al., 2020).

Os resultados obtidos para este sistema reacional proposto neste estudo é bastante superior àqueles reportados na literatura para a produção enzimática de ésteres de solketila que se caracterizam pelo requerimento de grandes volumes de solventes orgânicos para alcançar elevadas porcentagens de conversões (Boncel et al., 2023; Johny et al., 2019; Mine et al., 2005; Romano et al., 2006; Villa et al., 2020). Além disso, o biocatalisador preparado apresentou melhor retenção de atividade após sucessivas reações comparada com estes estudos. Portanto, estes dados demonstram que a lipase imobilizada no suporte preparado obtido a partir de um material lignocelulósico pode ser interessante na imobilização e estabilização de ET2.0.

4. CONCLUSÃO

Neste estudo, um processo sustentável conduzido na ausência de emulsificantes, agentes tamponantes e solventes orgânicos foi proposto para a síntese de ésteres de solketila, uma importante classe de compostos para a indústria oleoquímica. Estes ésteres foram obtidos a partir de óleo residual (óleo de soja usado em fritura) empregando lipase ET2.0 imobilizada em um suporte proveniente de um resíduo lignocelulósico (partículas pré-tratadas do epicarpo da macaúba). O processo de imobilização adotado mostrou claramente que a lipase imobilizada foi mais ativa e estável que a sua forma solúvel, mostrando a importância de um apropriado processo de imobilização na estabilização da

lipase. O desenvolvimento de um processo eficiente e sustentável empregando um óleo residual como matéria-prima e resíduo lignocelulósico como suporte de imobilização de lipase pode ser considerado uma alternativa promissora para o estabelecimento de processos industriais tecnologicamente limpos e seguros.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Os autores também agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG (Processo APQ–00944–24) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq (Processo 306253/2023–2) pelo suporte financeiro.

REFERÊNCIAS

[1] Alves, M.D., Aracri, F.M., Cren, É.C., Mendes, A.A., 2017. Isotherm, kinetic, mechanism and thermodynamic studies of adsorption of a microbial lipase on a mesoporous and hydrophobic resin. Chem. Eng. J. 311, 1–12. https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.11.069

[2] Ampese, L.C., Buller, L.S., Monroy, Y.M., Garcia, M.P., Ramos-Rodriguez, A.R., Forster-Carneiro, T., 2021. Macaúba's world scenario: a bibliometric analysis. Biomass Convers. Biorefinery 13, 3329–3347. https://doi.org/10.1007/S13399-021-01376-2

[3] Barbosa, S.L., Lima, P.C., dos Santos, W.T.P., Klein, S.I., Clososki, G.C., Caires, F.J., 2019. Oxygenated biofuels: Synthesis of fatty acid solketal esters with a mixture of sulfonated silica and $(Bu_4N)(BF_4)$ catalyst. Catal. Commun. 120, 76–79. https://doi.org/10.1016/J.CATCOM.2018.12.005

[4] Bijoy, G., Rajeev, R., Benny, L., Jose, S., Varghese, A., 2022. Enzyme immobilization on biomass-derived carbon materials as a sustainable approach towards environmental applications. Chemosphere 307, 135759. https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2022.135759

[5] Bolina, I.C.A., Gomes, R.A.B., Mendes, A.A., 2021. Biolubricant production from several oleaginous feedstocks using lipases as catalysts: current scenario and future perspectives. BioEnergy Res., 14, 1039–1057. https://doi.org/10.1007/S12155-020-10242-4

[6] Bolivar, J.M., Woodley, J.M., Fernandez-Lafuente, R., 2022. Is enzyme immobilization a mature discipline? Some critical considerations to capitalize on the benefits of immobilization. Chem. Soc. Rev. 51, 6251–6290. https://doi.org/10.1039/d2cs00083k

[7] Boncel, S., Zniszczoł, A., Szymańska, K., Mrowiec-Białoń, J., Jarzebski, A., Walczak, K.Z., 2013. Alkaline lipase from *Pseudomonas fluorescens* non-covalently immobilised on pristine versus oxidised multi-wall carbon nanotubes as efficient and recyclable catalytic systems in the synthesis of solketal esters. Enzyme Microb. Technol. 53, 263–270. https://doi.org/10.1016/J.ENZMICTEC.2013.05.003

[8] Bradford, M.M., 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Anal. Biochem. 72, 248–254. https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3

[9] Carvalho, W.C.A., Luiz, J.H.H., Fernandez-Lafuente, R., Hirata, D.B., Mendes, A.A., 2021. Eco-friendly production of trimethylolpropane triesters from refined and used soybean cooking oils using an immobilized low-cost lipase (Eversa® Transform 2.0) as heterogeneous catalyst. Biomass Bioenergy 155, 106302. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2021.106302

[10] Johny, J., Jatla, A., Eruva, V.K., Misra, S., Kaki, S.S., 2019. Synthesis, characterization and evaluation of 1-monoacylglycerols of unsaturated fatty acids as potential bioactive lipids. Grasas Aceites 70, e325–e325.

[11] Lee, H.N., Jang, H.J., Woo, J.W., 2023. Synthesis and plasticity of cyclic ester compounds using fatty acids. Appl. Chem. Eng. 34, 252–257. https://doi.org/10.14478/ACE.2023.1030

[12] Lopes, D.D.C., Steidle Neto, A.J., Mendes, A.A., Pereira, D.T.V., 2013. Economic feasibility of

biodiesel production from Macauba in Brazil. Energy Econ. 40, 819–824. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2013.10.003

[13] Mariam, N.M.D.N.S., Hoong, S.S., Arniza, M.Z., Adnan, S., Ismail, T.N.M.T., Yeong, S.K., Yusop, M.R., 2022. Optimisation of reaction parameters for the synthesis of solketal levulinate as potential biodiesel additive. J. Oil Palm Res. 34, 524–534. https://doi.org/10.21894/JOPR.2021.0052

[14] Miguel Júnior, J., Dimas, J.V.B., Barbosa, M.S., Gomes, R.A.B., Carvalho, A.K.F., Soares, C.M.F., Fernandez-Lafuente, R., Mendes, A.A., 2024. Biocatalytic production of solketal esters from used oil utilizing treated macauba epicarp particles as lipase immobilization support: A dual valorization of wastes for sustainable chemistry. Catalysts, 14, 693. https://doi.org/10.3390/catal14100693

[15] Mine, Y., Zhang, L., Fukunaga, K., Sugimura, Y., 2005. Enhancement of enzyme activity and enantioselectivity by cyclopentyl methyl ether in the transesterification catalyzed by *Pseudomonas cepacia* lipase co-lyophilized with cyclodextrins. Biotecnol. Lett. 27, 383–388. https://doi.org/10.1007/s10529-005-1527-1

[16] Monteiro, R.R.C., Arana-Peña, S., da Rocha, T.N., Miranda, L.P., Berenguer-Murcia, Á., Tardioli, P.W., dos Santos, J.C.S., Fernandez-Lafuente, R., 2021. Liquid lipase preparations designed for industrial production of biodiesel. Is it really an optimal solution? Renew. Energy 164, 1566–1587. https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2020.10.071

[17] Neamtu, C., Stepan, E., Plesu, V., Bozga, G., Tuluc, A., 2019. Synthesis and characterization of new solketal alkylesters usable as diesel biobased fuel additives. Rev. Chim., 70, 1167–1172. https://doi.org/10.37358/RC.19.4.7086.

[18] Perosa, A., Moraschini, A., Selva, M., Noè, M., 2016. Synthesis of the fatty esters of solketal and glycerol-formal: Biobased specialty chemicals. Molecules 21, 170. https://doi.org/10.3390/MOLECULES21020170

[19] Rodrigues, R.C., Virgen-Ortíz, J.J., dos Santos, J.C.S., Berenguer-Murcia, Á., Alcantara, A.R., Barbosa, O., Ortiz, C., Fernandez-Lafuente, R., 2019. Immobilization of lipases on hydrophobic supports: immobilization mechanism, advantages, problems, and solutions. Biotechnol. Adv. 37, 746–770. https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2019.04.003

[20] Romano, D., Ferrario, V., Molinari, F., Gardossi, L., Montero, J.M.S., Torre, P., Converti, A., 2006. Kinetic resolution of (R, S)-1,2-O-isopropylideneglycerol by esterification with dry mycelia of moulds. J. Mol. Catal. B Enzym. 41, 71–74. https://doi.org/10.1016/J.MOLCATB.2006.04.009

[21] Silva, L.N., Fortes, I.C.P., De Sousa, F.P., Pasa, V.M.D., 2016. Biokerosene and green diesel from macauba oils via catalytic deoxygenation over Pd/C. Fuel 164, 329–338. https://doi.org/10.1016/J.FUEL.2015.09.081

[22] Sousa, R.R., Silva, A.S., Fernandez-Lafuente, R., Ferreira-Leitão, V.S., 2021. Solvent-free esterifications mediated by immobilized lipases: A review from thermodynamic and kinetic perspectives. Catal. Sci. Technol. 11, 5696–5711. https://doi.org/10.1039/D1CY00696G

[23] Stergiou, P.Y., Foukis, A., Filippou, M., Koukouritaki, M., Parapouli, M., Theodorou, L.G., Hatziloukas, E., Afendra, A., Pandey, A., Papamichael, E.M., 2013. Advances in lipase-catalyzed esterification reactions. Biotechnol. Adv. 31, 1846–1859. https://doi.org/10.1016/J.BIOTECHADV.2013.08.006

[24] Sultanova, R.M., Khusnutdinova, N.S., Borisova, Y.G., Raskildina, G.Z., Meshcheryakova, S.A., Samorodov, A. V., Zlotsky, S.S., 2023. Selective synthesis of some carboxylic acids esters. Russ. J. Gen. Chem. 93, 1–7. https://doi.org/10.1134/S1070363223010012

[25] Villa, R., Alvarez, E., Nieto, S., Donaire, A., Garcia-Verdugo, E., Luis, S. V., Lozano, P., 2020. Chemo-enzymatic production of omega-3 monoacylglycerides using sponge-like ionic liquids and supercritical carbon dioxide. Green Chem. 22, 5701–5710. https://doi.org/10.1039/D0GC02033H

[26] Yang, J., Ma, W.J., Li, N., Zhou, J.H., Sun, H.Z., 2014. Synthesis of tung oil monoglyceride. Adv. Mater. Res. 941–944, 1021–1025. https://doi.org/10.4028/WWW.SCIENTIFIC.NET/AMR.941-944.1021

Capítulo 4

Estudo da utilização e combinação de diferentes antioxidantes em polipropileno - avaliação comparativa das propriedades mecânicas após envelhecimento térmico

Ariene Ifanger Castelani
Leandro José dos Santos

Resumo: O polipropileno é um polímero termoplástico amplamente utilizado na indústria devido às suas propriedades mecânicas e químicas. Ele é resistente a impactos e a altas temperaturas, tornando-o ideal para uma variedade de aplicações. Para aumentar sua resistência à degradação, é comum e recomendável adicionar antioxidantes ao composto. Essas substâncias ajudam a prevenir a oxidação do polipropileno, mantendo suas propriedades físicas e prolongando sua vida útil. Neste estudo foi realizado 5 compostos com diferentes combinações de antioxidantes (primários e secundários), em processo de extrusão. Todos os compostos passaram por um processo forçado de envelhecimento em estufa e foram avaliados mecânicamente antes, durante (100 horas) e o após (500 horas) o processo de envelhecimento. Os resultados dos testes foram comparados entre com compostos e os diferentes períodos de envelhecimento. Para alguns testes, todos os 5 compostos obtiveram resultados superiores após o envelhecimento (tração, flexão, módulo de flexão), porém resultados piores, demonstrando uma degradação em alguns testes (deformação na ruptura, resistência ao impacto e alongamento). Após análise dos resultados, concluimos que a combinação do antioxidante primário Irgafos 168 combinado com o antioxidante secundário Irganox 1010, apresentou de forma geral, melhor proteção ao composto de polipropileno.

Palavras-chave: Polipropileno, Antioxidante, Envelhecimento térmico, Composto polimérico, aditivação.

1. INTRODUÇÃO

O polipropileno, um dos polímeros mais versáteis e amplamente utilizados na indústria moderna, tem desempenhado um papel fundamental em uma variedade de aplicações. Considerado um polímero *commodity* por ser produzido em grandes quantidades e utilizado em uma variedade de aplicações industriais, possui preço relativamente baixo em comparação a polímeros especializados ou de alto desempenho (polímeros de engenharia).

A utilização de blendas de polipropileno tem se mostrado extremamente vantajosas em diversos setores. Da vasta lista de melhorias, consideramos como principais os itens a seguir: melhoria das propriedades mecânicas, aprimoramente da resistências química, modificação da temperatura de transição vítrea, aumento de estabilidade dimensionas, redução de custos, redução de emissão de pegada de carbono (quando comparada a algums polímeros de engenharia) e a fácil reprocessabilidade e reciclabilidade deste material.

Sua popularidade é impulsionada por uma combinação única de propriedades físicas e químicas, que o tornam uma escolha ideal para uma gama diversificada de necessidades industriais e comerciais. No entanto, sua jornada rumo à excelência não é isenta de desafios, especialmente quando confrontada com o impacto corrosivo de processamento, do tempo e das condições ambientais adversas. Neste contexto, a introdução de antioxidantes primários e secundários, emergem como um elemento crucial na busca por prolongar a vida útil e preservar as propriedades essenciais do polipropileno. Ao formar uma aliança sinérgica, esses compostos combatem eficazmente os efeitos nocivos da oxidação, estendendo não apenas a durabilidade, mas também o desempenho do polímero em uma variedade de contextos.

Os estudos entre a interação do polipropileno e a combinação dos antioxidantes visam aprimorar a resistência e a longevidade dos produtos poliméricos em um mundo cada vez mais exigente e dinâmico.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. POLIPROPILENO

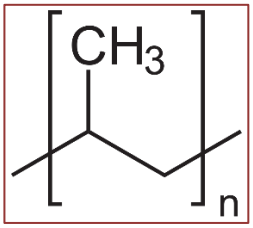
O polipropileno (PP) é o polímero *commodity* oriundo da reação de polimerização do propileno. Desde a primeira síntese catalítica de polipropileno isotático (iPP) realizada em 1954 usando a combinação de catalisador de *Ziegler*, o PP vem apresentando mercadológicamente um desempenhos excepcionais quando se fala de crescimento global da demanda pela resina continua sendo liderado e espera-se que aumente de 120 milhões de toneladas até 2030 (Gilbert, 2016; Karger-Kocsis; Bárány 2019). No Brasil, assim como no mundo, o mercado de PP é o segundo maior negócio de polímeros do mundo (o polietileno, PE, sendo o primeiro), representando mais de 25% da demanda global de polímeros (Karger- Kocsis; Bárány 2019; Perfil, 2022).

Esta vasta utilização, é promovida principalmente pela versatilidade e as diversas propriedades do polipropileno, que são oriundas de uma matriz de elevada cristalinidade, com cristais interligados que permitem a formação de artigos rígidos e altamente resistentes mecanicamente, a Figura 1 representa a unidade repetitiva do PP (Nunes; Santos, 2015; Gilbert, 2016).

Suas principais propriedades são derivadas de sua cristalinidade e de sua taticidade, pois

é um polímero altamente isotático são polímeros com alta teor de regiões cristalinas e regularidade estrutural, o que promove uma configuração do tipo hélice helicoidal, com três unidades monoméricas por célula unitária (Gilbert, 2016; Santos; Saito; Nunes, 2019). Outras utilizações são devido às suas excelentes propriedades, como a resistência elétrica e mecânica a altas temperaturas, excelente resistência à fadiga por flexão, fácil coloração e moldagem, além de baixa absorção de umidade (Santos; Saito; Nunes, 2019). É um tipo de polímero facilmente moldavel quando submetido a temperatura elevada, possui baixa densidade, boa resistência química, boa estabilidade térmica, atóxico e boa compatibilidade com aditivos e cargas em geral.

Figura 1 – Unidade repetitiva do PP



Fonte: Adaptado de Nunes; Santos, 2015; Gilbert, 2016.

2.2. ADITIVOS PROTETORES (ANTIOXIDANTES)

Os aditivos protetores são aqueles que atuam no sentido de menter as propriedades dos polímeros inalteradas durante o seu tempo de serviço (Rabello; De Paoli, 2013).

À medida que os polímeros termoplásticos e/ou terofixos encontram novas aplicações e desempenhando em novos ambientes, eles enfrentam requisitos cada vez mais rigorosos quanto à sua vida útil, durabilidade e muitas outras propriedades (Pelzl; Wolf; Kaul, 2018).

Diversas abordagens são utilizadas na intenção de satisfazer os requisitos de aplicações. Uma delas envolve modificar a estrutura química das macromoléculas plásticas, por meio da utilização de novos monômeros ou pela copolimerização (Rabello; De Paoli, 2013). Os avanços na área de blendas e de compositos poliméricos oferecem um vasto campo para inovação. Outra maneira eficaz e de fundamental importância para otimizar as aplicações das propriedades dos termoplásticos é a incorpohração de aditivos (Pelzl; Wolf; Kaul, 2018).

Tendo em vista a utilização de antioxidantes para melhorar o desempenho dos polímeros em questão de retardar a autoxidação e minimizar os danos associados (por exemplo, descoloração, redução do brilho, rachaduras, fragilização) (Murphy, 2001; Pelzl; Wolf; Kaul, 2018). As reações de oxidação geralmente procedem por diferentes mecanismos que dependem da estrutura do polímero. Eles são frequentemente catalisados por resíduos de catalisadores e contaminantes (Rabello; De Paoli, 2013). Também são acelerados pela adição de energia térmica ou mecânica durante a produção e processamento de plásticos (Murphy, 2001; Pelzl; Wolf; Kaul, 2018; Wypych, 2020).

A degradação oxidativa pode ocorrer em todas as etapas do ciclo de vida do polímero, devido as estruturas que constituem os polímeros não serem quimicamente inertes, sendo assim, desde sua produção até seu uso em serviço, resultando em modificações irreversíveis da composição química do polímero. Para protegê-lo contra a oxidação,

uma baixa concentração de antioxidantes (AOs) é geralmente incorporada ao polímero durante as primeiras etapas da operação de processamento (Rabello; De Paoli, 2013; Pelzl; Wolf; Kaul, 2018; Wypych, 2020; Xu; Roland; Colin, 2020).

No processo de estabilização dos polímeros, existem três formas de estabilização são usadas: a pré-estabilização, a estabilização durante o processamento e a estabilização de longo prazo (Pelzl; Wolf; Kaul, 2018). Grande parte da aditivação antioxidantes é consumida e/ou oxidada ao desempenhar sua função do produto, de modo que o comportamento de oxidação do aditivo em um determinado polímero é fundamental para sua vida útil e eficácia (Murphy, 2001; Pelzl; Wolf; Kaul, 2018; Wypych, 2020).

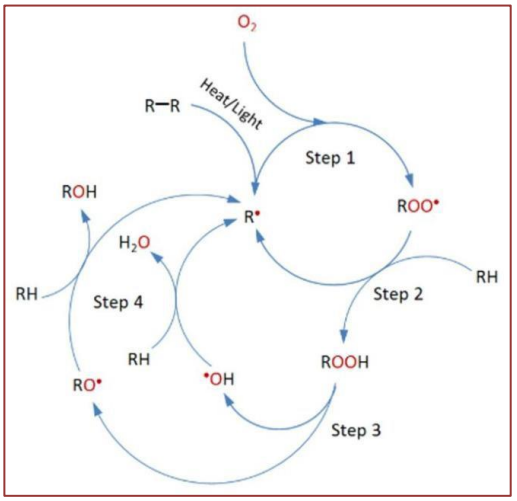
Os antioxidantes são divididos em duas classes com base em seu modo de ação.

- Antioxidantes primários: fenóis estéricamente impedidos, aminas aromáticas secundárias e aminas estéricamente impedidas (*sterically hindered amines - HALS*);
- Antioxidantes secundários: fosfitos, fosfonitos, tioéteres (sulfetos) e sais metálicos.

Antioxidantes primários, ou bloqueadores de cadeia; são os que interrompem o ciclo de propagação, reagindo com os radicais R• e ROO•, induzindo daí novas reações de oxidação.

São aditivos químicos utilizados para proteger materiais poliméricos contra a degradação causada pela oxidação. A oxidação pode ocorrer devido à exposição ao oxigênio, calor, luz UV e outros fatores ambientais, resultando em perda de,propriedades físicas e mecânicas dos polímeros, como descoloração, fragilidade e perda de resistência. Atuam neutralizando os radicais lives formados durante a degradação oxidativa. Eles interrompem a cadeia de reações de oxidação ao doar um hidrogênio ou eletrônio para os radicais livres, estabilizando-os e impedindo que causem mais danos (Gonçalves; Garcia, 2018).

Figura 2 – Esquema mecânico simplificado para a oxidação térmica de poliolefina



Fonte: Adaptado de Rabello; De Paoli, 2013; Xu; Roland; Colin, 2020.

Antioxidantes secundário, que destroem os hidroperóxidos, um dos principais iniciantes de oxidação. São aditivos que atuam em sinergia com os antioxidantes primários para proteger os materiais poliméricos contra a degradação oxidativa. Enquanto os

antioxidantes primários interrompem a cadeia de reações de oxidação neutralizando diretamente os radicais livres, os antioxidantes secundários atuam de maneira diferente, geralmente decompondo peróxidos formados durante a degradação oxidativa (Jasso- Gastinel; Kenny, 2016).

Segundo teorias fundamentadas por Agnelli e Chinelatto, (1992) e confirmadas por Allen; Edge, (2021), a principal função dos antioxidantes secundários, também conhecidos como decompositores de peróxidos, são eficazes na decomposição de hidroperóxidos em produtos não-radicais, prevenindo a formação de radicais livres adicionais que podem perpetuar a degradação do polímero.

Mesmo no estado sólido, os tioéteres mantêm sua eficácia como estabilizantes, protegendo o polímero do calor por longos períodos (Agnelli E Chinelatto, 1992). Os antioxidantes secundários são fundamentais para a proteção a longo prazo dos polímeros. Eles complementam a ação dos antioxidantes primários, proporcionando uma defesa mais completa contra os processos de degradação oxidativa (Agnelli, 2013).

Nos processos oxidativos a atuação dos antioxidantes secundários é bastante importante, uma vez que os antioxidantes primários formam hidroperóxidos (ROOH) que são instáveis e reiniciam as reações. Os fosfitos ou fosfonatos aromáticos e tioéteres (ou tioésteres) são os principais tipos de antioxidantes secundários (Rivera, 2016).

Os antioxidantes são substâncias que quando adicionadas na formulação de materiais poliméricos durante sua produção, inibem ou retardam o processo oxidativo, protegendo-o da degradação causada por agentes oxidantes, de acordo com os estudos descritos por Agnelli e Chinelatto, (1992).

Os polímeros são suscetíveis à degradação quando expostos a condições como calor, luz solar, umidade e oxigênio. Isso pode levar a uma série de problemas, incluindo mudanças na cor, fragilização, perda de propriedades mecânicas e até a falha estrutural. Os antioxidantes ajudam a estender a vida útil dos polímeres, retardando ou impedindo esses processos de degradação (Gonçalves, 2016).

Existem diferentes tipos de antioxidantes para polímeros, incluindo antioxidantes fenólicos, antioxidantes aminas, antioxidantes esteróis e antioxidantes fosfitos, entre outros. Cada tipo de antioxidante pode ter sua aplicação específica, dependendo do tipo de polímero e das condições de exposição ambiental.

Os principais tipos de de antioxidante primário são as aminas e os fenóis, que possuem átomos de hidrogênio mais reativos com os radicais peróxi ou alcoxi do que os átomos de hidrogênio da cadeia do polímero. Os fenóis são usados preferencialmente devido à menor tendência de descoloração, embora percam eficiência em temperaturas mais elevadas(...) Um aspecto negativo dos antioxidantes fenólicos é que os produtos finais de reação podem agir como cromóforos durante a fotodegradação. (Rabello, 2000).

2.3. SINERGIA COM ANTIOXIDANTES

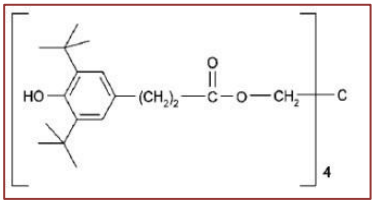
A combinação de antioxidantes primários e secundários é frequentemente utilizada para maximizar a proteção dos polímeros. Enquanto os primários lidam com os radicais livres diretamente, os secundários asseguram que os produtos de oxidação (como os hidroperóxidos) não contribuam para a formação de mais radicais livres, proporcionando uma proteção mais robusta e eficiente (Grassie, 1985).

3. MATERIAIS

Neste estudo, foram avaliados as propriedades mecânicas de compostos de polipropimeno com diferentes adição de antioxidantes. Materiais considerados neste estudo:

- ✓ PP homopolímero nucleado, grade H202, fabricante Braskem, índice de fluidez 23g/10min (Fonte: *Data sheet da Braskem*).
- ✓ Antioxidante irganox 1010 – Primário fenólico para processamento e vida útil.

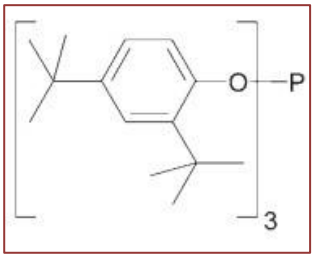
Figura 3: Composição química do Irganox 1010



Fonte: *Basf, 2010*; Pelzl; Wolf; Kaul, 2018.

- ✓ Antioxidante irgafos 168 – Secundário, fosfito para processamento

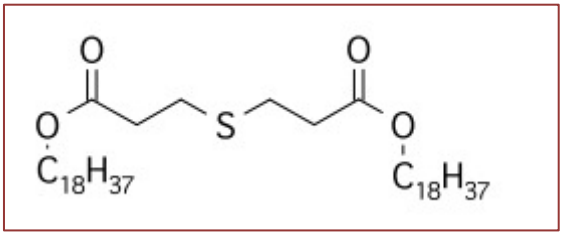
Figura 4: Composição química do Irgafos 168



Fonte: *Basf, 2010*; Pelzl; Wolf; Kaul, 2018.

- ✓ Antioxidante PS 802 – Secundário fenólico para estabilidade térmica e aumento da vida útil.

Figura 5: Composição química do PS 802



Fonte: *Basf, 2010*; Pelzl; Wolf; Kaul, 2018.

3.1. MATERIAIS E MÉTODOS

Os compostos foram obtidos através do processamento de extrusão, em uma extrusora dupla rosca, de marca *Coperion*, modelo *ZSK 26 MC*. Posteriormente, assim como as resinas sem reforços, foram processados em uma injetora *Toshiba EC100SX III* para confecção de corpos de prova de acordo a norma ISO. Os corpos de prova foram submetidos as três (03) condições seguintes.

Condição um (1), após 48 horas de conformação e posteriormente, ensaiados;

Condição dois (2), após 48 horas de conformação, os corpos de provas foram submetidos ao envelhecimento térmico em estufa a 150 °C por 100 horas e posteriormente, ensaiados;

Condição três (3), após 48 horas de conformação, os corpos de provas foram submetidos ao envelhecimento térmico em estufa a 150 °C por 500 horas e posteriormente, ensaiados.

Todos corpos de provas foram devidamente armazenados em condições controladas de temperatura de 23 ± 2 °C e umidade relativa de 50 ± 5%.

4. METODOLOGIA

4.1. RESISTÊNCIA A TRAÇÃO

Ensaio realizado em uma máquina universal de ensaio da marca *Tinius Olsen*, modelo *H10KL*. Ensaio realizado para obter resultados em termos de resistência à propriedade de tração, alongamento na ruptura e módulo elástico, cinco corpos de prova foram submetidos a essa análise, em ambiente com umidade relativa de 50 ± 5 % e temperatura de 23 ± 2°C. Cada amostra com corpo de prova em conformidade com a norma ISO 527, foram deformados sob tração a uma velocidade de 50 mm/min.

4.2. RESISTÊNCIA A FLEXÃO

Ensaio realizado no mesmo equipamento descrito no ensaio de resistência a tração e com o mesmo ambiente controlado (umidade e temperatura). Os resultados obtidos, são referentes a deformação de flexão e módulo de flexão em cinco corpos de prova, conforme norma ISO 178. A análise foi realizada a velocidade de 2mm/min com deformação do corpo de prova de 5%.

4.3. RESISTÊNCIA AO IMPACTO IZOD COM ENTALHE

Em uma máquina de impacto *Izod* e *Charpy*, marca *Tinius Olsen* modelo *Impact* 104, cinco corpos de prova foram submetidos ao ensaio de resistência ao impacto *Izod* com entalhe. Realizados em laboratório com em ambiente com umidade relativa de 50 ± 5 % e temperatura de 23 ± 2°C. Com dimensional em conformidade com a norma ISO 180, anteriormente os corpos de prova foram entalhados em um aparelho auxiliar, um entalhador semi-automático modelo *Someh* SOH 1463-002.

A análise apresenta resultados de energia absorvida, a cada deformação aos corpos de prova, por um pêndulo de energia conhecida (2,75 J) e controlado, podendo ser alterado baseado na energia absorvida apresentada.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram processados 5 compostos com diferentes formulações, conforme demonstrado na Tabela 1. Para todos, foi utilizado como base, o polimero Polipropileno H202HC da *Braskem*.

O polipropileno H202HC é um homopolímero nucleado de médio índice de fluidez especialmente desenhado para aplicações que necessitam elevadíssima rigidez/tenacidade com boa processabilidade. Este produto apresenta excelente resistência química e propriedades de barreira.

Para cada formulação, foi adiciondo variações de porcentagem e tipo de antioxidante, conforme demonstrado na tabela abaixo.

Tabela 1 – Formulações utilizadas (fração dos componentes em %)

Matriz		*Antioxidantes*		
Formulação	**PP H202 HC**	**1010**	**168**	**DSTDP**
1	100,0	0,0	0,0	0,0
2	99,9	0,1	0,0	0,0
3	99,8	0,1	0,1	0,0
4	99,7	0,1	0,1	0,1
5	99,8	0,1	0,0	0,1

Fonte: Autor, (2025).

Após extrusão e injeção dos corpos de prova, de acordo com as normas *ISO*, os seguintes testes foram realizados:

- Resistência a tração no escoamento;
- Resistência a flexão;
- Módulo de flexão;
- Alongamento no escoamento;
- Deformação na ruptura;
- Resistência ao impacto *Izod* com entalhe.

As análises foram realizadas após 48 horas de estabilização a 23 °C e umidade de 50% ± 10.

Os corpos de prova foram acondicionados em estufa á 150 °C e avaliados após 100 horas e 500 horas (exceto o teste de indice de fluidez que foi realizado em peletes sem passar por processo de envelhecimento acelerado).

Os resultados obtidos estão expostos na Tabela 2.

Tabela 2 – Testes e resultados após 48 horas de estabilização

48h de estabilização - Sem Envelhecimento		Amostras				
		1	2	3	4	5
Resistência a tração no escoamento (50mm/min)	MPa	41,13	41,14	40,95	40,20	40,70
Resistência a flexão (2mm/min)	MPa	54,68	55,88	56,64	54,71	53,69
Módulo de flexão (2mm/min)	MPa	2012	2083	2121	2024	1968
Deformação na ruptura	%	22,36	24,53	30,79	29,77	24,65
Resistência ao impacto *Izod* com entalhe (kJ/m2)	(kJ/m²)	2,33	2,29	2,49	2,62	2,61
Alongamento no escoamento	%	13,91	13,55	13,86	13,85	14,31

Fonte: Autor (2025).

Tabela 3 – Testes e resultados após 100 horas a 150 °C

100h Envelhecimento		Amostras				
		1	2	3	4	5
Resistência a tração no escoamento (50mm/min)	MPa	41,81	41,13	41,55	40,57	40,84
Resistência a flexão (2mm/min)	MPa	66,88	68,65	69,04	68,73	66,05
Módulo de flexão (2mm/min)	MPa	2477	2766	2815	2802	2590
Deformação na ruptura	%	22,73	19,87	23,46	18,58	23,11
Resistência ao impacto *Izod* com entalhe (kJ/m2)	(kJ/m2)	2,63	1,77	1,70	1,71	1,35
Alongamento no escoamento	%	11,10	10,27	10,67	9,87	10,00

Fonte: Autor (2025).

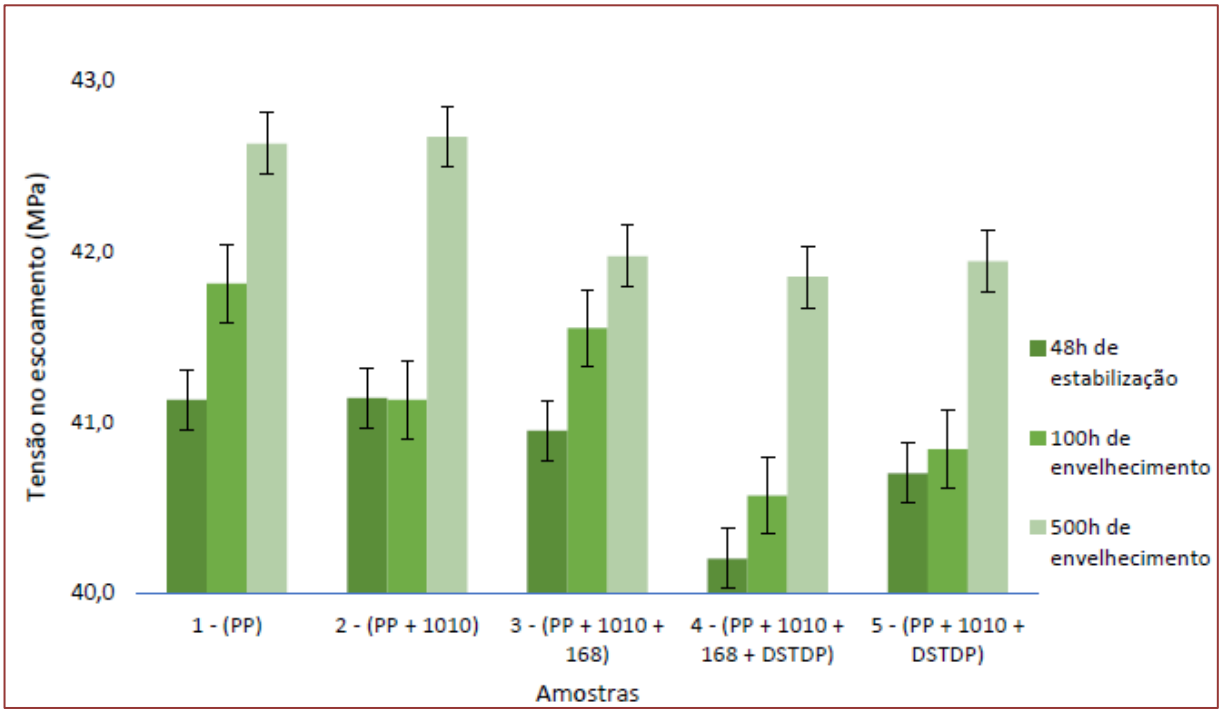
Tabela 4 – Testes e resultados após 500 horas a 150 °C

500h envelhecimento		Amostras				
		1	2	3	4	5
Resistência a tração no escoamento (50mm/min)	MPa	42,63	42,67	41,97	41,85	41,94
Resistência a flexão (2mm/min)	MPa	69,32	70,06	70,93	68,13	66,43
Módulo de flexão (2mm/min)	MPa	2765	2781	3121	3053	2917
Deformação na ruptura	%	16,91	17,73	16,24	15,36	15,08
Resistência ao impacto *Izod* com entalhe (kJ/m2)	(kJ/m2)	1,59	1,65	1,62	1,52	1,43
Alongamento no escoamento	%	9,76	9,76	8,90	9,15	9,38

Fonte: Autor (2025).

Comparando as 5 amostras e os respectivos tempos de envelhecimento para cada teste, temos os seguintes gráficos:

Gráfico 1 – Resistência a tração – tensão no escoamento (MPa)



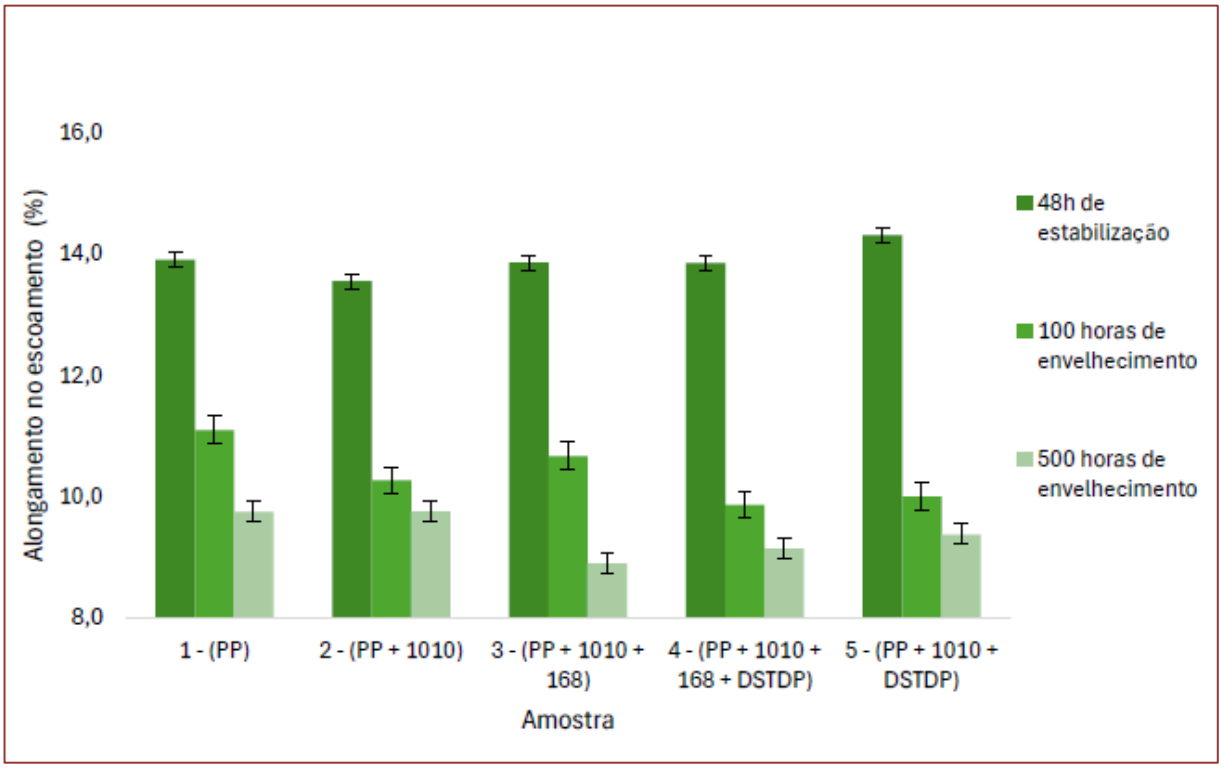
Fonte: Autor (2025).

Avaliando o comportamento das cinco formulações nas três condições de envelhecimento, observa-se, no Gráfico 1, que todas as amostras apresentaram aumento na resistência à tração no escoamento após 500 horas de envelhecimento, quando comparadas aos valores obtidos após 48 horas de estabilização.

Na condição de 500 horas, os incrementos absolutos foram de aproximadamente 1,50 MPa, 1,53 MPa e 1,65 MPa para as amostras 1 (PP), 2 (PP + 1010) e 4 (PP + 1010 + 168 +DSTDP), respectivamente. Em termos relativos, os aumentos percentuais entre 48 h e 500 h foram de 3,6% (amostra 1), 3,7% (amostra 2), 2,5% (amostra 3), 4,1% (amostra 4) e 3,0% (amostra 5). Apesar da tendência geral de aumento, as amostras 1 e 2, que não possuem ou possuem apenas o antioxidante 1010, apresentaram os maiores valores finais de resistência à tração no escoamento.

De forma geral, considerando apenas o ensaio de resistência à tração, a presença de antioxidantes, independentemente da combinação utilizada, não promoveu melhoria nas propriedades mecânicas nesta condição específica. Pelo contrário, foi observada uma leve redução dos valores em comparação à amostra sem aditivos. Mesmo após o envelhecimento acelerado, os melhores desempenhos mecânicos foram registrados nas formulações sem estabilizantes ou contendo somente o antioxidante primário

Gráfico 2 – Resultados do teste de alongamento no escoamento (%)



Fonte: Autor (2025).

O Gráfico 2, apresenta os valores de alongamento no escoamento (%) para as diferentes formulações de PP submetidas a 48 h de estabilização, 100 h e 500 h de envelhecimento acelerado. Em todas as amostras, observou-se uma redução progressiva da deformação no escoamento ao longo do tempo, comportamento típico de materiais sujeitos à degradação térmica e oxidativa.

Após 500 horas de envelhecimento, as reduções percentuais em relação aos valores medidos após 48 h foram de aproximadamente 30% para a amostra 1 (PP puro), 28% para a amostra 2 (PP + 1010), 36% para a amostra 3 (PP + 1010 + 168), 35% para a amostra 4 (PP +1010 + 168 + DSTDP) e 30% para a amostra 5 (PP + 1010 + DSTDP).

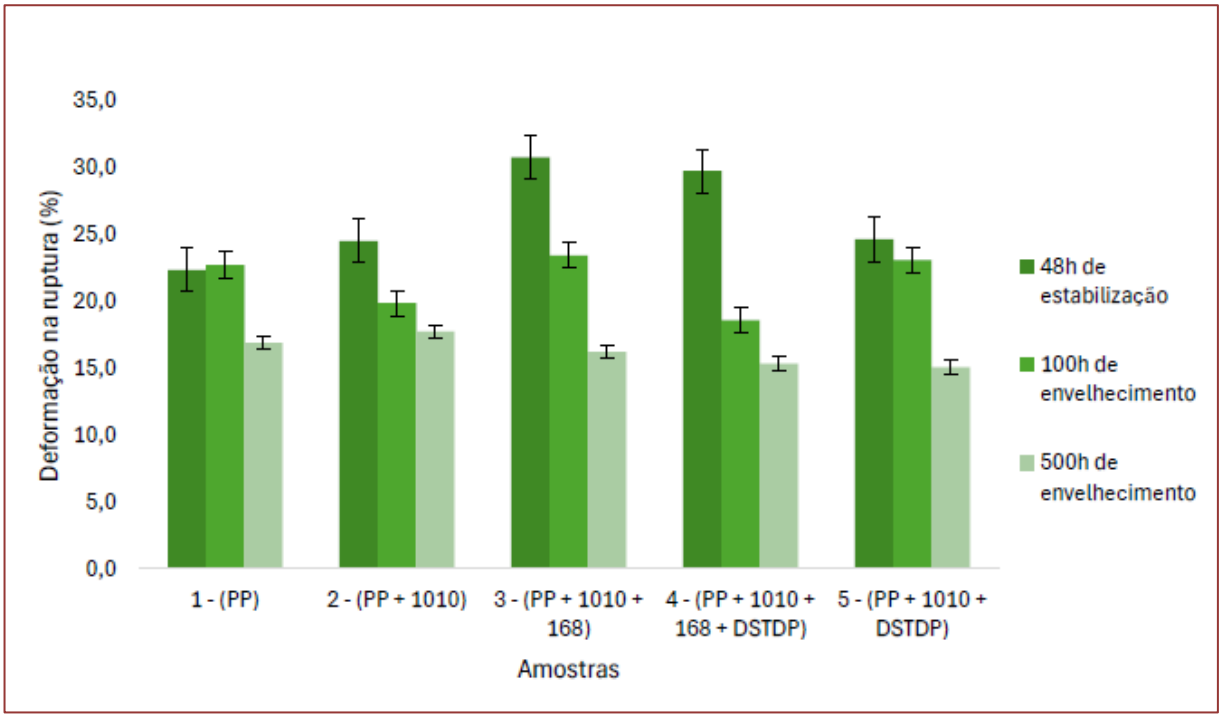
A amostra 3 apresentou a maior queda percentual, indicando maior perda de ductilidade ao longo do envelhecimento. Já a amostra 2 foi a que apresentou menor redução relativa, embora com valor final ainda inferior ao da amostra 5.

De forma geral, os resultados confirmam que o envelhecimento compromete a capacidade de deformação do PP, mesmo na presença de sistemas antioxidantes. Os aditivos analisados não impediram a perda de alongamento no escoamento, sugerindo que sua ação protetiva, nesta condição específica.

O Gráfico 3, apresenta a deformação na ruptura (%) de diferentes amostras de polipropileno (PP) e suas combinações com aditivos (1010, 168 e DSTDP), avaliadas em três condições de envelhecimento: 48 horas de estabilização, 100 horas e 500 horas de envelhecimento. Observa-se que todas as amostras exibem uma redução progressiva da deformação na ruptura com o aumento do tempo de envelhecimento, indicando perda da ductilidade do material. A amostra 3 (PP + 1010 + 168) apresentou os maiores

valores de deformação na ruptura em todas as condições, sugerindo efeito positivo da combinação dos aditivos na resistência ao impacto. Por outro lado, a amostra 1 (PP puro) apresentou os menores valores, especialmente após 500 horas, evidenciando maior fragilização pelo envelhecimento.

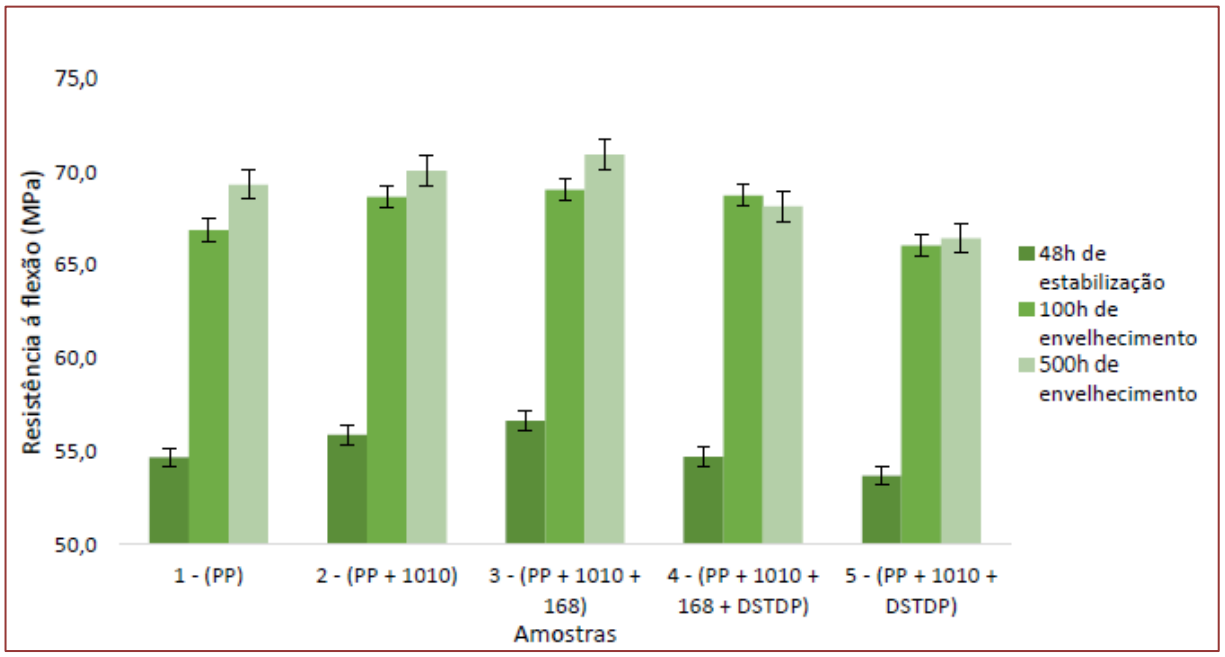
Gráfico 3 – Resultados do teste de deformação na ruptura (%)



Fonte: Autor (2025).

A presença do estabilizante DSTDP nas amostras 4 e 5 não resultou em aumento significativo da deformação na ruptura comparado às amostras sem esse aditivo, sobretudo após 500 horas de envelhecimento. Esses resultados indicam que o envelhecimento compromete a resistência à deformação, e que a seleção adequada de aditivos pode mitigar, ainda que parcialmente, esse efeito.

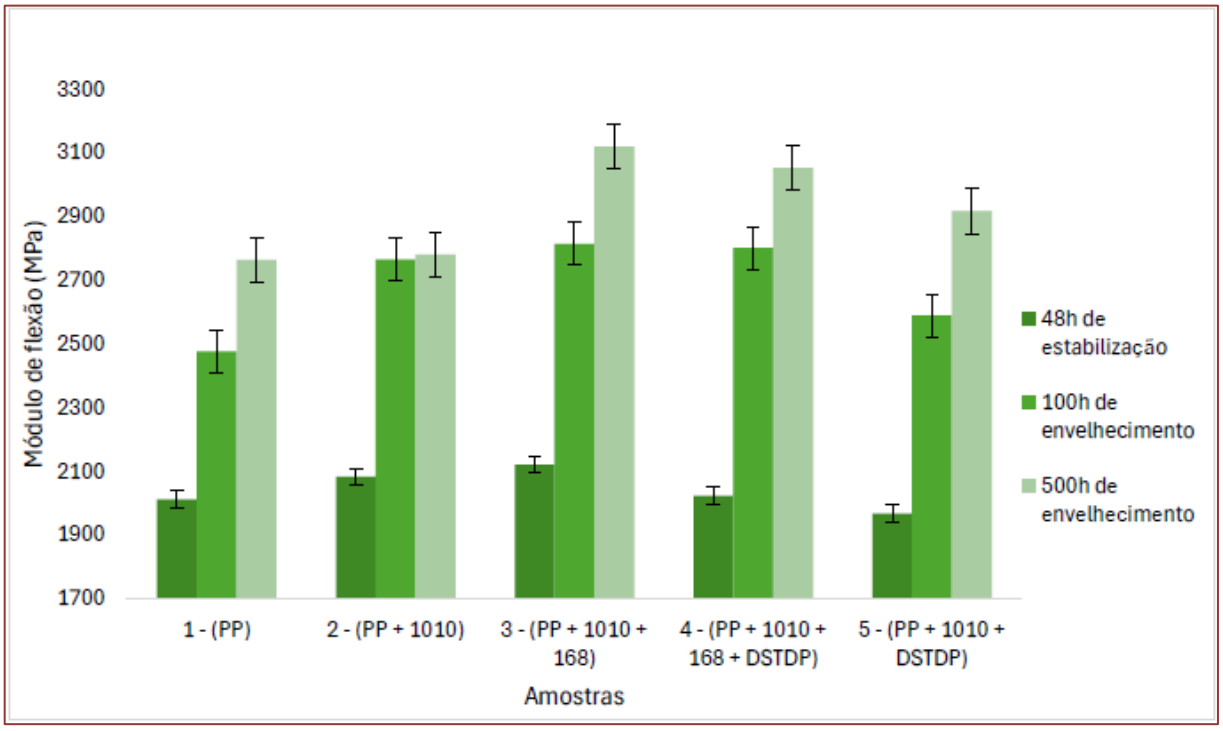
Gráfico 4 – Resultados de resistência a flexão (MPa)



A resistência à flexão das formulações de polipropileno aumentou progressivamente com o tempo de envelhecimento acelerado, conforme apresentado no Gráfico 4. A amostra contendo apenas PP apresentou um incremento de aproximadamente 30% após 500 h, passando de cerca de 54 MPa para 70 MPa. A introdução do antioxidante primário 1010 (amostra 2) resultou em um aumento semelhante, de aproximadamente 25%.

As formulações com sistemas antioxidantes combinados (amostras 3, 4 e 5) apresentaram ganhos entre 22% e 25%, atingindo valores finais de até 71 MPa. Embora os sistemas estabilizantes tenham contribuído para a manutenção da integridade da propriedade do material, o aumento da resistência à flexão com o tempo pode estar associado a alterações estruturais provocadas pelo envelhecimento.

Gráfico 5 – Resultados do teste de Módulo de Flexão (MPa)



Fonte: Autor (2025).

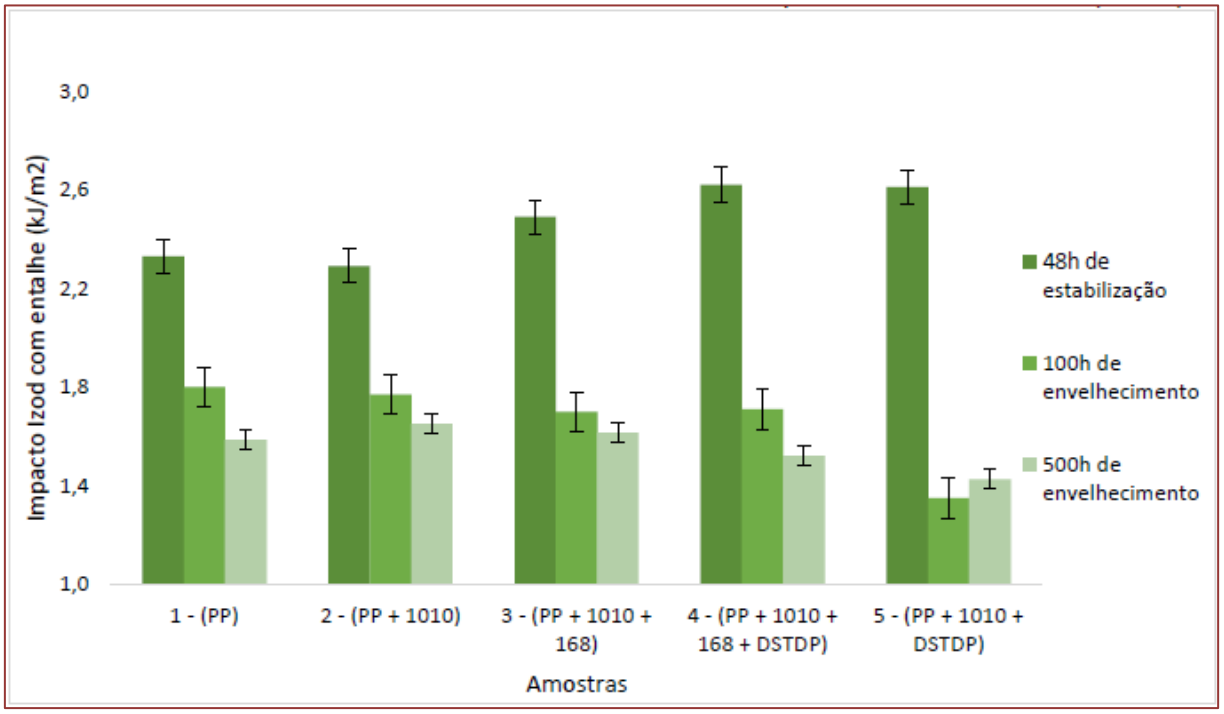
O Gráfico 5 apresenta o módulo de flexão (MPa) de diferentes formulações de polipropileno após 48 h de estabilização, 100 h e 500 h de envelhecimento acelerado. Observa-se uma tendência de aumento do módulo com o tempo de envelhecimento, indicando que a oxidação do material pode ter promovido enrijecimento, possivelmente devido à possível reorganização molecular induzida (Barros; Branciforti, 2018).

A amostra contendo apenas PP (1) apresentou um aumento aproximado de 37% no módulo de flexão após 500 h. A inclusão do antioxidante 1010 (amostra 2) promoveu um aumento tão expressivo quanto a amostra 1, de cerca de 33.

As formulações com sistemas antioxidantes combinados mostraram os maiores valores finais de módulo. A amostra 3 (PP + 1010 + 168) teve um ganho de aproximadamente 47%, enquanto a amostra 4 (PP + 1010 + 168 + DSTDP) apresentou um aumento próximo de 50%. Já a amostra 5 (PP + 1010 + DSTDP) teve incremento de cerca de 52%.

Esses resultados sugerem que, embora os aditivos antioxidantes tenham como principal função evitar a degradação, sua presença também influencia a morfologia e rigidez final do material, especialmente sob envelhecimento térmico. A combinação de aditivos se mostra eficaz na manutenção da integridade do polímero e pode promover um módulo de flexão superior, mesmo após longos períodos de exposição.

Gráfico 6 – Resultados do teste de resistência ao impacto *Izod* com entalhe (kJ/m2)



Fonte: Autor (2025).

O Gráfico 6, apresenta os valores de resistência ao impacto *Izod* com entalhe (kJ/m^2) para diferentes formulações de polipropileno (PP) após 48 h de estabilização, 100 h e 500 h de envelhecimento acelerado. Todas as amostras exibiram redução da propriedade com o tempo, evidenciando a degradação progressiva do material.

Amostras contendo apenas PP (amostra 1) e PP com o antioxidante primário 1010 (amostra 2) apresentaram perdas significativas, de aproximadamente 35% e 33% após 500 h, respectivamente. A adição do estabilizante 168 (amostra 3) não evitou a degradação, com perda em torno de 36%.

As amostras contendo a combinação de antioxidantes 1010, 168 e o estabilizante secundário DSTDP (amostras 4 e 5) apresentaram as maiores resistências iniciais (~2,6 kJ/m^2). Ainda assim, após 500 h, observaram-se perdas de aproximadamente 37% (amostra 4) e 45% (amostra 5) respectivamente, indicando que, embora combinação dos antioxidantes melhore a estabilidade inicial, a degradação ao longo do tempo ainda é expressiva.

Esses resultados reforçam a importância do uso combinado de antioxidantes e coestabilizantes, mas também evidenciam a necessidade de otimização das formulações para garantir maior resistência à degradação em longo prazo.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os ensaios de envelhecimento acelerado demonstraram que o envelhecimento térmico-oxidativo do polipropileno (PP) promove aumento da rigidez do material, evidenciado pelo acréscimo na resistência e no módulo de flexão, concomitantemente à significativa

redução da ductilidade, manifestada pela diminuição do alongamento no escoamento e da resistência ao impacto. A incorporação de antioxidantes, embora não tenha evitado integralmente a degradação das propriedades mecânicas, mostrou-se eficaz na mitigação da perda de deformabilidade e tenacidade, especialmente nos sistemas combinados de antioxidantes, com destaque para a formulação contendo os agentes 1010 e 168. Além disso, a influência dos antioxidantes na morfologia do PP resultou em maior rigidez nas amostras submetidas ao envelhecimento. Contudo, a resistência ao impacto permaneceu como a propriedade mais sensível ao processo degradativo, mesmo na presença dos aditivos. Dessa forma, os sistemas antioxidantes são fundamentais para preservar a integridade estrutural e as propriedades mecânicas do PP, evidenciando a necessidade de contínua otimização das formulações para assegurar desempenho duradouro sob condições térmico-oxidativas.

AGRADECIMENTOS

À minha filha Manuela e ao meu marido Renato por entenderem minhas escolhas, minha ausência aos sábados e minha necessidade de ir em busca de mais conhecimento em minha área;

Aos colegas do curso, pela troca de informações profissionais e suportes que só a maturidade de um curso de pós-graduação pode proporcionar;

Aos mestres que pelo dom de ensinar, nos transmitem tantas informações e conhecimentos;

Ao mestre Leandro José dos Santos que foi além de um professor, um colega, um "*google*" ambulante de polímeros e que por tantas vezes, foi além dos assuntos estipulados em aula para sanar minhas dúvidas. Obrigada por embarcar nessa minha fase e ser meu orientador.

REFERÊNCIAS

[1] ABIPLAST. **PERFIL 2022.** [s.l: s.n.]. Disponível em: https://www.abiplast.org.br/wp-content/uploads/2023/09/perfil_2022_pt.pdf. Acesso em: 25 set. 2024.

[2] ALLEN, N. S.; EDGE, M. *Perspectives on additives for polymers. 1. Aspects of stabilization.* ***Journal of Vinyl and Additive Technology***, v. 27, n. 1, p. 5-27, 2021.

[3] AGNELLI, J. A. M.; CHINELATTO, M. A. Degradação de polipropileno: aspectos teóricos e recentes avanços em sua estabilização. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 2, n. 3, p. 27-31, 1992.

[4] AGNELLI, J. A. M.; CHINELATTO, M. A. Estabilização de polímeros: mecanismos e aplicações. Revista brasileira de polímeros, v. 1, n. 2, p. 45-58, 1992. CANEVAROLO JR, S. V. **Ciência dos polímeros**. 3. ed. São Paulo, Artiliber, 2013.

[5] BARROS, R. M.; BRANCIFORTI, M. C. Correlação entre orientação molecular, cristalinidade e permeabilidade de filmes biaxialmente orientados de polietileno linear de baixa densidade. **Matéria**, v. 23, n. 1, p. e-11954, 2018.

[6] BASF, ***Technical information – Plastic Additives***, Irgafos 168, 2010.

[7] BASF, ***Technical information – Plastic Additives***, Irganox PS 802, 2010.

[8] GILBERT, M. ***Brydson's plastics materials***. *William Andrew*, 2016.

[9] GONÇALVES, J. R.; GARCIA, F. A. ***Antioxidantes em polímeros***: mecanismos de ação e aplicações. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE POLÍMEROS, 12., 2019, São Paulo. Anais... São Paulo: SBPol, 2019. p. 123-130JASSO-GASTINEL, C. F.; KENNY, J. M. **Modification of polymer properties**. William Andrew, 2016.

[10] GRASSIE, N.; SCOTT, G. ***Polymer Degradation and Stabilization***. Cambridge University Press, 1985, p. 122.

[11] JASSO-GASTINEL, C. F.; KENNY, J. M. (Ed.). **Modification of polymer properties**. William Andrew, 2016.

[12] KARGER-KOCSIS, J.; BÁRÁNY, T. ***Polypropylene handbook.*** *Switzerland: Springer Nature*, 2019.

[13] MENDES, E. B. **Introdução a polímeros.** 2. ed. Edgard Bluncher LTDA 1999.

[14] MURPHY, J. ***Additives for plastics handbook***. 2. ed. *Elsevier*, 2001.

[15] NUNES, E. C. D.; SANTOS, L. J. **Termoplásticos** – estrutura, propriedades e aplicações. ed. São Paulo: Érica, 2015.

[16] PELZL, B.; WOLF, R.; KAUL, B. L. *Plastics, additives.* ***Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry***, p. 1-57, 2018. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/14356007.a20_459.pub2. Acesso em: 25 set. 2024.

[17] RABELLO, M.; DE PAOLI, M. A. **Aditivação de termoplásticos.** 1. ed. São Paulo: Artliber, 2013

[18] RIVERA, A. M.; MONTES, M. C. **Antioxidantes em Polímeros**: Tipos e mecanismos de ação. Polímeros: Ciência e tecnologia, v. 26, n. 4, p. 367 – 375, 2016.

[19] SANTOS, L. J; SAITO, N. H.; NUNES, E. C. D. Análise das propriedades de compósitos de polipropileno com wollastonita em comparação ao talco. Engenharia no Século XXI. 1. ed. Belo Horizonte: **Poisson,** 2019. v. 6, p. 113-121. Disponível em: http://www.poisson.com.br/livros/engenharia/volume6/ESEC6.pdf. Acesso em: 24 set. 2024.

[20] WYPYCH, G. ***Handbook of Antioxidants***. 1. ed. *Toronto, Elsevier*, 2020.

[21] XU, A.; ROLAND, S.; COLIN, X. *Thermal ageing of a silane-crosslinked polyethylene stabilised with a thiodipropionate antioxidant.* ***Polymer Degradation and Stability***, v. 181, p. 109276, 2020.

Capítulo 5

Indústria 5.0 – novos paradigmas e desafios para a indústria têxtil

Maria Renata Moraes
Thiago Expedito do Nascimento Makoski
Celise Röder
Alessandra Brandani Biggi

Resumo: Este capítulo aborda a evolução da Indústria 4.0 para a Indústria 5.0, com foco específico no setor têxtil. A Indústria 5.0 propõe uma reconfiguração dos sistemas produtivos, centrando-se no ser humano — o chamado humano- centrismo — e valorizando práticas sustentáveis e resilientes. O estudo tem como objetivo analisar os impactos das tecnologias emergentes e da integração entre operadores e sistemas inteligentes na produtividade e na sustentabilidade industrial. Para tanto, foi conduzida uma revisão sistemática da literatura, com apoio do *software* StArt, que resultou na seleção de 57 artigos relevantes. Os resultados apontam que a renovação do parque fabril e a qualificação contínua da força de trabalho são fatores determinantes para a implementação bem- sucedida dos princípios da Indústria 5.0. Além disso, destaca-se a necessidade de cooperação entre governos, setor produtivo e instituições educacionais para superar os desafios existentes e fomentar políticas públicas eficazes. Conclui-se que, ao incorporar novos paradigmas, a indústria têxtil pode tornar-se referência em inovação e sustentabilidade, contribuindo de forma significativa para o progresso econômico e para a melhoria da qualidade de vida.

Palavras-chave: indústria 5.0, têxtil, humano-centrismo, sustentabilidade.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento industrial tem sido impulsionado por tecnologias que originam revoluções com impactos sociais e econômicos significativos. A atual revolução, conhecida como Indústria 4.0, marca o surgimento de fábricas inteligentes baseadas em sistemas ciberfísicos e na Internet das Coisas (IoT), promovendo a automação e digitalização dos processos produtivos (Coelho et al., 2023). No contexto de desafios globais — como mudanças climáticas, pandemias, guerras híbridas e convencionais e crises de refugiados —, desponta a Indústria 5.0, que busca recentrar o ser humano nos sistemas industriais, promovendo o humano-centrismo e priorizando a sustentabilidade e a resiliência (Golovianko et al., 2023; Leng et al., 2022).

A Indústria 5.0 propõe uma transformação profunda nos modelos produtivos, com objetivos sociais que vão além do crescimento econômico e da geração de empregos, visando uma prosperidade sólida e sustentável para a humanidade. Apesar de sua abordagem ainda estar em fase inicial de exploração científica, os resultados disponíveis são fragmentados e carecem de sistematização (Leng et al., 2022). Sua proposta inclui tecnologias adaptáveis, economia circular, respeito aos limites ecológicos e valorização da diversidade humana. Além disso, estudos discutem seu impacto na indústria de transformação sob a perspectiva da produtividade, sugerindo que poderá gerar mais empregos do que eliminar (Nahavandi, 2019; Huang et al., 2022).

Já a Indústria 4.0 é centrada na eficiência, com destaque para a automação e a inteligência distribuída, mas tende a negligenciar os impactos humanos provocados pela otimização de processos — o que pode gerar resistência social e política diante do aumento do desemprego (Nahavandi, 2019). Nesse cenário, a Indústria 5.0 é apontada como um caminho possível para conciliar inovação tecnológica com responsabilidade social.

Este capítulo tem como objetivo realizar uma revisão de escopo sobre os paradigmas e desafios da Indústria 5.0, com foco na indústria têxtil — setor que, embora tecnologicamente avançado, enfrenta a substituição intensiva de mão de obra por máquinas autônomas. Tal processo pode agravar o desemprego e seus impactos sociais. Ao mesmo tempo, as crises globais recentes impulsionam o debate sobre uma industrialização mais consciente e inclusiva.

A expectativa é de que a análise dos impactos da Indústria 5.0 no setor produtivo fomente uma maior compreensão sobre a integração entre os paradigmas da Indústria 4.0 e 5.0. A primeira prioriza tecnologias como inteligência artificial, robótica e IoT; a segunda, valores sociais, ambientais e sustentáveis. A convergência desses modelos pode viabilizar uma evolução industrial mais equilibrada. Com base nisso, esta pesquisa busca identificar os principais estudos publicados sobre a Indústria 5.0, seus novos paradigmas e desafios, com ênfase no setor têxtil, oferecendo subsídios para aplicação prática fundamentada em evidências científicas.

2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1. TRANSFORMAÇÃO INDUSTRIAL

A Primeira Revolução Industrial, iniciada no século XVIII, foi marcada pela introdução da energia a vapor nos processos industriais, ampliando a produtividade ao substituir gradualmente a força humana. Posteriormente, o vapor também impulsionou o transporte naval, reduzindo os tempos de deslocamento (Sakurai et al., 2018).

A Segunda Revolução Industrial (século XIX) destacou-se pela produção em massa, idealizada por Henry Ford, e pela introdução da energia elétrica e do motor a combustão nas fábricas (Pasquini et al., 2014). Já a Terceira Revolução Industrial, nas décadas de 1970, promoveu a automação parcial por meio de computadores programáveis, consolidando bases tecnológicas que culminaram nos sistemas atuais (Pasquini et al., 2014).

A Quarta Revolução Industrial, ou Indústria 4.0, surgiu em 2011 e trouxe fábricas inteligentes baseadas em sistemas ciberfísicos, Digital-Twin, IoT, IA e Big Data, promovendo comunicação autônoma entre máquinas (Hermann et al., 2023). Atualmente, vivencia-se a transição para a Indústria 5.0, proposta pela Comissão Europeia como evolução da anterior. Este novo paradigma visa alinhar lucro à responsabilidade social e ambiental, com foco humano no centro dos sistemas produtivos (Nara et al., 2021).

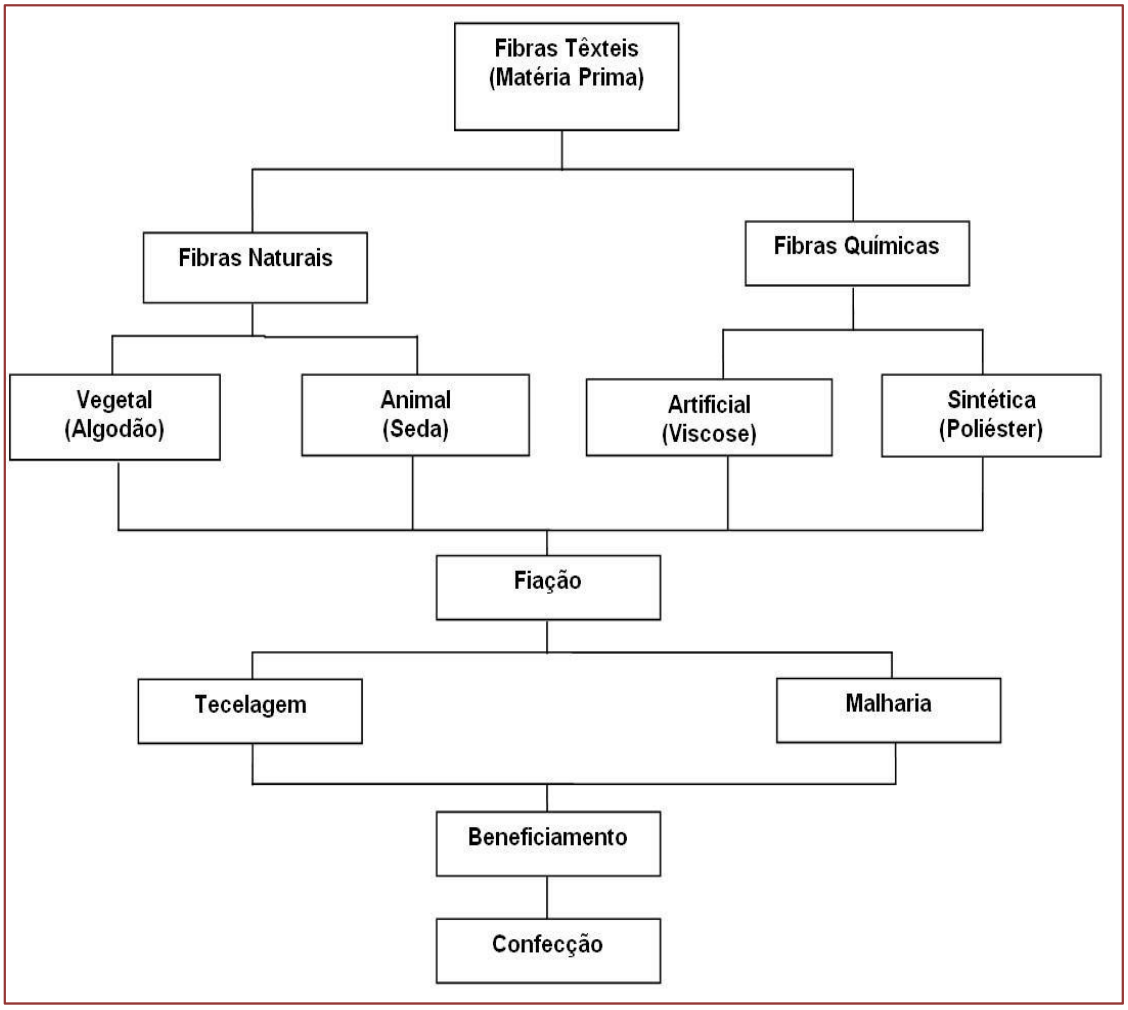
Entre os princípios da Indústria 5.0, destacam-se a sustentabilidade, resiliência e a colaboração entre humanos e robôs — tópicos amplamente discutidos na literatura acadêmica (Gladysz et al., 2023). Tecnologias como manufatura aditiva, sistemas ciberfísicos, big data, Digital-Twin, IoT, computação em nuvem e blockchain — herdadas da Indústria 4.0 — continuam fundamentais na nova fase industrial.

Essa sinergia tecnológica, aliada a valores humanos, representa o núcleo conceitual da Indústria 5.0 e seu potencial transformador.

2.2. INDÚSTRIA TÊXTIL

A indústria têxtil é composta por uma ampla cadeia produtiva, que abrange as etapas de fiação, malharia, tecelagem, beneficiamento — compreendendo o pré- tratamento, tingimento, estamparia e acabamento — e, por fim, a confecção. A Figura 1 apresenta uma representação visual das diversas fases que compõem essa cadeia produtiva (Araujo e Castro, 1984).

Figura 1. Cadeia Produtiva Têxtil



Fonte: Moraes, 2013.

De acordo com a Figura 1, as principais fases da cadeia produtiva têxtil são:

1. Fiação Responsável pela transformação das fibras têxteis em fios. Trata- se da etapa inicial do processo produtivo, essencial para a definição das características estruturais e funcionais dos fios.
2. Tecelagem ou Malharia Nesta fase, os fios produzidos são convertidos em tecidos. A tecelagem gera tecidos planos, enquanto a malharia produz malhas circulares, retilíneas ou de urdume. Ambas as técnicas são fundamentais para a diversidade de aplicações dos materiais têxteis.
3. Beneficiamento Consiste no preparo do substrato — fio ou tecido — para etapas posteriores. Engloba processos como pré-tratamento, tingimento, estamparia e acabamento, que conferem propriedades específicas ao produto, como cor, textura, resistência e funcionalidade.
4. Confecção os tecidos beneficiados são cortados e costurados para formar peças acabadas. Nessa etapa, aplicam-se tecnologias diversas e incorporam-se acessórios, agregando valor ao produto final.

A indústria têxtil vem se consolidando como uma das mais avançadas em termos de tecnologia e inovação, impulsionada pela busca por eficiência e lucratividade. Essa modernização tem sido marcada pela crescente substituição da mão de obra humana por máquinas autônomas, transformando profundamente os métodos tradicionais de produção.

Com o advento da Indústria 4.0, inaugurou-se uma nova era produtiva caracterizada pela automação de processos e pela integração de sistemas ciberfísicos e tecnologias digitais, como a Internet das Coisas (IoT). As chamadas fábricas inteligentes operam com alto grau de conectividade e autonomia, sugerindo, para o setor têxtil, uma reconfiguração estrutural que pode resultar na substituição de grande parte dos postos de trabalho, com impactos sociais significativos — especialmente o aumento do desemprego e a vulnerabilidade da classe trabalhadora.

Por outro lado, desafios globais contemporâneos — como as mudanças climáticas, pandemias, conflitos armados e crises de refugiados — têm intensificado a reflexão sobre os modelos industriais vigentes. Diante dessa realidade, a comunidade científica tem sinalizado a urgência de repensar os paradigmas produtivos adotados até então.

Em resposta, a Indústria 5.0 emerge com uma proposta centrada no bem-estar humano, na sustentabilidade e na economia circular. Este novo modelo reposiciona o ser humano no centro dos sistemas de manufatura, conciliando inovação tecnológica com responsabilidade social e ambiental. A expectativa é que essa abordagem proporcione um desenvolvimento mais equilibrado e inclusivo. Neste contexto, esta pesquisa tem como propósito realizar uma revisão de escopo sobre os fundamentos e os desafios da Indústria 5.0 no setor têxtil, buscando fomentar uma conscientização baseada em evidências científicas que viabilizem sua aplicação prática. Ao compreender esse novo paradigma, pretende-se contribuir com uma reflexão crítica e construtiva sobre a evolução industrial, integrando os aspectos econômicos, sociais e ambientais de forma harmoniosa e sustentável.

3. METODOLOGIA

Este estudo adotou como abordagem metodológica uma revisão de escopo (Scoping Review), conforme definição de Hilary (2005). Esse tipo de revisão visa mapear os principais conceitos relacionados ao tema, identificar a amplitude e profundidade das evidências disponíveis, condensar os dados pertinentes e apontar lacunas existentes na literatura científica.

A coleta de dados foi realizada em bases reconhecidas de referência internacional: ScienceDirect, Scopus, Web of Science e Engineering Village, além da consulta a anais de congressos e a livros nacionais e internacionais. Todas as publicações consideradas foram limitadas ao recorte temporal dos últimos quatro anos. Os critérios para seleção das bases incluíram:

- Disponibilidade dos artigos online;
- Mecanismos de busca compatíveis com operadores booleanos;
- Confiabilidade da base e do veículo de publicação.

Apenas artigos publicados em língua inglesa foram selecionados, considerando sua predominância na comunicação científica internacional. Os operadores booleanos

utilizados foram:

- (Textile industry) AND (Industry 5.0).
- (Textile industry OR Industry 5.0) AND (Sustainability OR Human-Centric).
- (Textile industry OR Industry 5.0) AND (Sustainability OR Human-Centric OR Internet of things).
- (Textile industry AND Industry 5.0) AND (Sustainability OR Human- Centric).
- (Textile industry OR Industry 5.0) AND (Sustainability AND Human- Centric).
- (Industry 5.0 OR Textile industry) AND (Industry 4.0) AND (Sustainability).

Para a organização e triagem dos estudos, empregou-se o software StArt (State of the Art through Systematic Review), ferramenta gratuita desenvolvida pelo LaPES/UFSCAR. O StArt facilita o processo de seleção por meio da importação de resultados, exclusão automática de duplicatas e visualização de informações bibliográficas como título, autores, palavras-chave, periódico, ano e resumo. Também permite aplicar filtros e conduzir análises específicas.

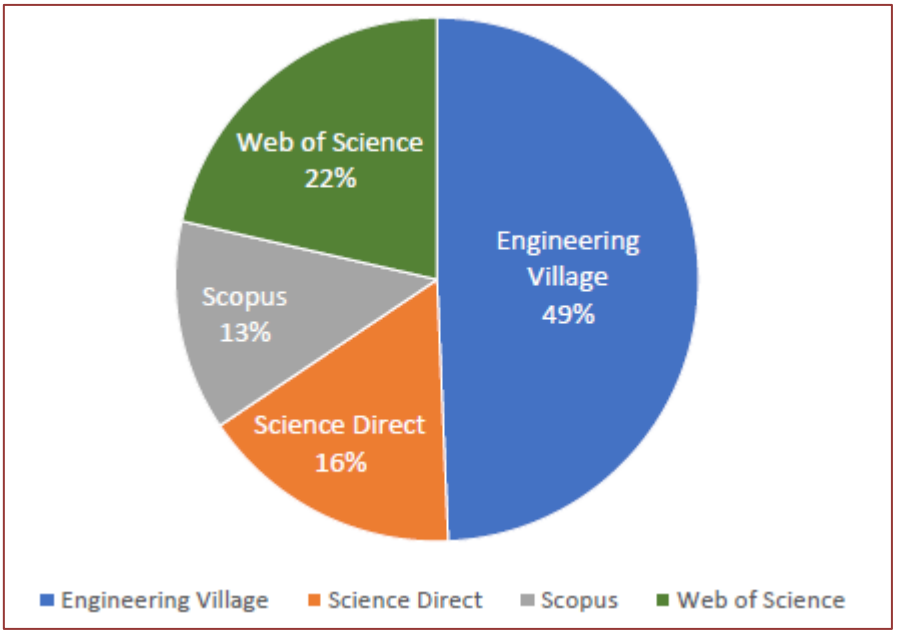
A seleção dos artigos seguiu o protocolo de Sanches et al. (2018), dividido em três etapas:

1. Construção da cadeia de busca – Definição e combinação dos descritores, posteriormente aplicados às bases selecionadas.
2. Aplicação de filtros – Artigos com texto completo disponível, nos idiomas inglês, português ou espanhol, publicados nos últimos quatro anos. Os títulos e autores foram analisados preliminarmente no software StArt, e os duplicados foram registrados uma única vez.
3. Leitura na íntegra e extração de dados – Os artigos selecionados foram lidos integralmente para identificação da relevância e extração de dados fundamentais à análise final e à redação da revisão.

A etapa inicial da investigação bibliográfica resultou em um total de 9.927 artigos localizados nas bases selecionadas. Desses, 5.836 foram eliminados devido à duplicidade de registros, enquanto outros 3.765 foram descartados após análise dos títulos, resumos, palavras-chave e disponibilidade do texto completo — pois não estavam alinhados com os objetivos da pesquisa. Ao final desse processo preliminar, 329 artigos foram selecionados para leitura na íntegra, visando à identificação das publicações relevantes que comporiam a base teórica desta revisão de escopo.

A Figura 2 apresenta a distribuição dos artigos por base de dados, antes da aplicação de qualquer filtro metodológico.

Figura 2. Distribuição dos artigos por base de dados



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

A filtragem seguinte considerou exclusivamente os estudos que abordavam aspectos da Indústria 5.0, especialmente aqueles relacionados à indústria têxtil e à economia circular. Após a leitura aprofundada dos 329 artigos, foram selecionados 57 trabalhos para compor a fundamentação teórica da pesquisa. Para facilitar a organização dos dados extraídos, os artigos selecionados foram catalogados em uma planilha no Microsoft Excel 365, contendo informações relevantes como: tipo de metodologia aplicada, palavras-chave utilizadas, principais citações e respectivos títulos. Esse processo permitiu sistematizar os conteúdos e otimizar a análise crítica dos resultados encontrados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. INDUSTRIA 5.0

A concepção da Indústria 5.0 foi idealizada pela Comissão Europeia de Pesquisa e Inovação, com o propósito de promover uma indústria mais sustentável e responsável. Seus pilares fundamentais — o foco no ser humano, a sustentabilidade e a resiliência — apontam para uma abordagem holística do desenvolvimento industrial (Zizic et al., 2022; Humayun, 2021; Adel, 2022; Turner et al., 2022). Esses princípios orientadores visam alinhar os avanços tecnológicos às demandas sociais, ambientais e econômicas contemporâneas. A centralidade no ser humano busca garantir que a tecnologia contribua efetivamente para a melhoria da qualidade de vida no ambiente fabril, promovendo flexibilidade, agilidade e competitividade frente aos novos desafios do setor (Lu et al., 2022). Já o princípio da sustentabilidade propõe práticas industriais que preservem os recursos naturais, minimizando impactos negativos ao meio ambiente. Por sua vez, a resiliência é entendida como a capacidade da indústria de se adaptar a cenários adversos — sejam eles econômicos, ambientais ou sociais — com planejamento e preparação

adequada (Kolade et al., 2022).

Nesse contexto, a Indústria 5.0 propõe um modelo de produção massiva e personalizada (Alojaiman, 2023; Frederico, 2021), capaz de adaptar-se aos operadores humanos por meio da utilização de tecnologias como robôs e cobots. Essa arquitetura produtiva também é projetada para responder com agilidade às demandas dos consumidores (Huang et al., 2022). As aplicações previstas desse modelo abrangem setores estratégicos como a indústria de transformação, logística, turismo e agricultura (Ben Youssef & Mejri, 2023). Apesar da proposta da União Europeia de posicionar a Indústria 5.0 como sucessora direta da Indústria 4.0, autores como Ivanov (2022) e Raja Santhi et al. (2023) sugerem que essa transição ainda é prematura. Para esses estudiosos, a Indústria 4.0 encontra-se em fase de consolidação, sendo mais adequado compreender a Indústria 5.0 como uma extensão ou evolução qualitativa. Ivanov (2022), por exemplo, propõe a nomenclatura "Indústria 4.1", argumentando que esse título expressa melhor a continuidade evolutiva da revolução digital anterior, sem romper com seus fundamentos essenciais.

Da mesma forma, Raja Santhi et al. (2023) sugerem termos alternativos como "Indústria 4.0S" ou "Indústria Sustentável 4.0", ressaltando que o foco na colaboração homem-máquina e na sustentabilidade multidimensional configura um avanço qualitativo, não apenas cronológico, nos paradigmas da industrialização.

4.2. TRANSIÇÃO DA INDÚSTRIA

A Indústria 5.0 representa uma mudança paradigmática em relação à sua antecessora, especialmente no que diz respeito ao uso da tecnologia e à centralidade do ser humano nos sistemas produtivos. Enquanto a Indústria 4.0 concentrou-se na eficiência e na maximização do lucro, frequentemente em detrimento das questões sociais, ambientais e da saúde ocupacional (Ghobakhloo et al., 2023), a Indústria 5.0 propõe uma abordagem mais humanizada e orientada ao bem-estar coletivo. Ela consolida os recursos digitais ágeis da Indústria 4.0, transformando-os em soluções inovadoras e personalizadas de alto valor agregado (Emma-Ikata & Doyle-Kent, 2022). Contudo, essa evolução industrial apresenta desafios significativos. A implementação de sistemas autônomos, voltados ao aumento da produtividade, pode levar à substituição gradual dos trabalhadores humanos, ou mesmo ao seu rebaixamento funcional e salarial. Essa tendência, destacada por Wang et al. (2024), Iqbal et al. (2022) e Baig & Yadegaridehkordi (2023), aponta para o risco de demissões em larga escala, gerando impactos sociais relevantes. Apesar disso, certas competências — como as habilidades socioemocionais e interações interpessoais — ainda se mostram difíceis de automatizar e tendem a ser complementadas pela tecnologia.

Economias emergentes, por sua vez, nem sempre demonstram disposição em adotar tecnologias disruptivas. Segundo Karmaker et al. (2023), existe uma cautela em relação à rentabilidade e ao retorno sobre investimento, o que pode retardar a incorporação de soluções da Indústria 5.0 nesses contextos.

A transição entre os paradigmas industriais exige também adaptações estruturais, como a modernização dos parques fabris e maquinários legados. O processo de substituição por equipamentos de última geração enfrenta barreiras econômicas significativas. Muitas empresas, conforme apontado por Tran et al. (2022), optam por atualizar dispositivos existentes ao invés de realizar investimentos elevados em novos

sistemas. Ainda que menos eficientes em termos energéticos e de emissão de carbono, essas máquinas podem continuar operacionais e economicamente viáveis por meio de estratégias de otimização e prolongamento da vida útil.

A introdução de novos equipamentos — sejam atualizados ou recém-adquiridos — demanda necessariamente a integração de tecnologias digitais. Tais tecnologias possuem efeitos disruptivos nos setores industriais consolidados e, ao mesmo tempo, favorecem o surgimento de novas empresas, segmentos produtivos e oportunidades de emprego. Com isso, os profissionais passam a enfrentar a necessidade urgente de requalificação para atender às exigências da Indústria 5.0 (Kolade et al., 2022; Khosravy et al., 2024).

Nesse cenário, torna-se fundamental revisar os métodos educacionais e estratégias formativas. Para Carayannis e Morawska-Jancelewicz (2022), as universidades devem assumir papel protagonista na construção de visões futuras, reavaliando criticamente suas funções, formatos de ensino e modos de atuação. Propõe-se, nesse contexto, a adoção de modelos híbridos e online, capazes de responder às expectativas de diferentes gerações, bem como o desenvolvimento de programas de aprendizagem adaptativa, ajustados às necessidades individuais dos estudantes.

A preparação para essa nova era industrial exige, além das competências técnicas, o desenvolvimento de habilidades socioemocionais. Conforme destaca Suan Chin (2021), os trabalhadores precisam demonstrar capacidade de gerenciamento emocional, especialmente em situações extremas, além de aprimorar suas competências comunicacionais e promover harmonia no ambiente de trabalho — elementos essenciais para o sucesso na Indústria 5.0.

4.3. TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 5.0

Na Indústria 5.0, o avanço tecnológico se sustenta na combinação de recursos consolidados da Indústria 4.0, como a análise de big data, a Internet das Coisas (IoT), os sistemas ciberfísicos (CPS) e a inteligência artificial, com inovações emergentes como a tecnologia Blockchain, as redes 6G e os robôs colaborativos (cobots), conforme apresentado por Maddikunta et al. (2022) e Espina-Romero et al. (2023). Tais tecnologias desempenham papel fundamental na evolução e implementação de sistemas inteligentes, promovendo uma transformação nas funções exercidas pelos trabalhadores, cuja atuação tende a ser compartilhada com os sistemas digitais. Ainda assim, a tomada final de decisões permanece como atribuição humana, conforme enfatizado por Kalateh et al. (2024).

A conectividade avançada proporcionada pelo 5G e pela transição iminente para o 6G torna-se elemento essencial na estruturação de ambientes produtivos inteligentes. Com atributos como baixa latência e alta largura de banda, essas tecnologias de comunicação sem fio asseguram a integração e o funcionamento eficiente da infraestrutura digital, sobretudo quando aplicadas a dispositivos sensores que realizam a coleta contínua e confiável de dados operacionais. A capacidade de conectar equipamentos de forma ágil e segura contribui diretamente para o desenvolvimento da Indústria 5.0, viabilizando uma produção cada vez mais automatizada e eficiente (Raffik et al., 2023; Narkhed et al., 2023). A Internet das Coisas, por sua vez, consolida-se como uma abordagem orientada à eficiência dos processos e à redução de custos, baseada na análise de grandes volumes de dados obtidos por sensores e transmitidos por redes

IP (Fatima et al., 2022). A finalidade central dessa tecnologia é promover a interconexão de sistemas físicos e computacionais, de modo a facilitar a troca de informações e automatizar tarefas. Essa integração amplia as possibilidades de aplicação, desde o monitoramento remoto de máquinas industriais até a gestão inteligente de recursos urbanos. Contudo, os sistemas conectados à internet enfrentam desafios relevantes, especialmente relacionados à segurança e à privacidade. A geração e o fluxo constante de dados expõem os dispositivos a riscos como invasões, malwares, roubo de informações e ataques de negação de serviço, capazes de comprometer linhas produtivas inteiras e gerar perdas econômicas significativas (Raja Santhi et al., 2023; Coronado et al., 2022; Mourtzis et al., 2022).

No contexto da Indústria 5.0, a inteligência artificial destaca-se pela capacidade de estabelecer conexões colaborativas entre humanos e máquinas inteligentes, promovendo processos de co-inovação, co-projeto e co-criação de produtos e serviços personalizados (Leng et al., 2022). Essa sinergia permite que máquinas complementem as capacidades humanas e otimizem os fluxos produtivos. No entanto, a crescente integração da IA com sensores conectados à IoT levanta questões éticas importantes, principalmente no que tange à privacidade dos dados. A possibilidade de que sistemas inteligentes observem, analisem e prevejam o comportamento humano demanda cuidados quanto à segurança da informação. Tais preocupações éticas transcendem a privacidade individual, envolvendo aspectos como segurança no trabalho, impacto ambiental e responsabilidade social, conforme ressaltado por Khosravy et al. (2024).

Os sistemas ciberfísicos, conhecidos como CPS, permanecem relevantes na Indústria 5.0, embora sua função tenha evoluído. Na Indústria 4.0, esses sistemas priorizavam ganhos tecnológicos, enquanto na Indústria 5.0 há uma valorização dos aspectos humanos, com foco na qualidade da interação entre operadores e equipamentos (Leng et al., 2022). Os CPS são aplicados ao monitoramento de linhas de produção e montagem, gestão de ativos, análise preditiva e controle da cadeia de suprimentos, utilizando sensores e módulos IoT para gerar diagnósticos em tempo real e apoiar decisões estratégicas.

Outra tecnologia essencial é o gêmeo digital, definido como uma representação virtual fiel de objetos físicos, capaz de simular seu comportamento real. Essa ferramenta é aplicada a diversos níveis, desde máquinas individuais em ambientes industriais até cidades inteiras, permitindo simulações avançadas para análise e otimização de desempenho (Alojaiman, 2023).

A tecnologia Blockchain também assume protagonismo na Indústria 5.0 ao oferecer um sistema de registro distribuído, público e seguro. Baseada em blocos encadeados e criptografados, a Blockchain assegura transparência, autenticidade e resistência contra fraudes e falsificações. Sua estrutura exige consenso da rede para validar alterações, garantindo integridade das transações (Raffik et al., 2023; Dursun et al., 2022; Mourtzis et al., 2022; Pal e Yasar, 2020). Essa confiabilidade tem impulsionado sua adoção na indústria, com fabricantes investindo em aplicações que viabilizam rastreabilidade total da cadeia de suprimentos e gestão tecnológica eficiente. As possibilidades de transformação são amplas, abrangendo desde o controle logístico até a redefinição dos processos produtivos (Alojaiman, 2023).

Tecnologias como realidade virtual (VR) e realidade aumentada (AR), antes associadas ao entretenimento, passam a ocupar lugar estratégico na Indústria 5.0. Essas soluções sensoriais possibilitam experiências imersivas, integrando ambientes reais e virtuais

em simulações que aumentam a produtividade e reduzem riscos operacionais (Khosravy et al., 2024). A chamada realidade estendida (XR), que abrange VR e AR, vem sendo adotada para treinar trabalhadores em contextos complexos, superando as limitações dos métodos convencionais. Simulações seguras permitem o desenvolvimento de habilidades voltadas para sustentabilidade, inovação e eficiência (Longo et al., 2020; Ghobakhloo et al., 2023), evidenciando a contribuição da XR não apenas para a produção industrial, mas também para o crescimento profissional e a responsabilidade corporativa.

Na Indústria 5.0, os Cobots (robôs colaborativos) e a personalização em massa emergem como um dos principais focos de inovação, configurando um retorno estratégico dos seres humanos ao ambiente fabril (Sindhwani et al., 2022). A proposta central envolve a criação de uma sinergia funcional entre capacidades humanas e competências técnicas dos robôs, promovendo uma colaboração produtiva e dinâmica. Integrados aos processos industriais, os Cobots oferecem benefícios significativos como alta precisão operacional, capacidade de manipular cargas elevadas e execução automatizada de tarefas repetitivas, características que otimizam a eficiência. Em contrapartida, atributos humanos como criatividade artesanal, pensamento crítico e flexibilidade cognitiva passam a ser reconhecidos como componentes indispensáveis para o sucesso do trabalho colaborativo entre homem e máquina (Raffik et al., 2023; Khosravy et al., 2024; Maddikunta et al., 2022). A convergência entre esses dois perfis operacionais visa não apenas elevar os padrões de produtividade, mas também resgatar o protagonismo humano na construção de soluções industriais customizadas e inteligentes.

Essa reconfiguração tecnológica é acompanhada de uma forte demanda por consciência ambiental e responsabilidade sustentável. A integração de Cobots com sensores inteligentes conectados a sistemas personalizados permite às empresas acessar uma visão preditiva em tempo real sobre variáveis como clima, temperatura, consumo energético e outros parâmetros críticos ao longo da cadeia produtiva. Esse monitoramento inteligente é essencial para evitar perdas, melhorar a eficiência operacional e ampliar as práticas de reaproveitamento, reciclagem e recuperação de ativos (Adel, 2022). Dentro desse novo cenário, a automatização não é mais apenas um sinônimo de eficiência: ela passa a representar uma trajetória rumo a melhores condições laborais, com redução da carga de trabalho repetitiva, maior segurança e ampliação do tempo livre dos colaboradores. Essa mudança reposiciona o humano como parte essencial do ecossistema tecnológico, ao lado de ferramentas avançadas, no intuito de ofertar produtos cada vez mais personalizados e sustentáveis (Raja Santhi et al., 2023).

4.4. RESILIÊNCIA

A resiliência, no contexto industrial, representa não apenas a capacidade de um sistema manter ou recuperar rapidamente sua estabilidade, mas também de aprender e promover mudanças proativas diante de situações adversas — tanto durante quanto após grandes eventos disruptivos (Romero e Stahre, 2021). Tais eventos podem ter origem geopolítica, ambiental ou emergencial, como exemplificado pela pandemia da COVID-19 e pelas transformações climáticas resultantes da ação humana.

Na perspectiva da Indústria 5.0, a resiliência ultrapassa o nível empresarial individual, passando a incluir a robustez e adaptabilidade de toda a cadeia produtiva e, inclusive, do sistema industrial regional frente a riscos incertos e complexos. Essa abordagem

ampliada reforça a urgência de se adotar uma visão holística na gestão de riscos, buscando o fortalecimento da resiliência em múltiplos níveis — do micro ao macroeconômico — dentro das dinâmicas industriais (Leng et al., 2022).

4.5. SUSTENTABILIDADE NA INDÚSTRIA 5.0

A sustentabilidade constitui um dos pilares centrais definidos pela Comissão Europeia para a Indústria 5.0. Conforme apontado por Ghobakhloo et al. (2023), as tecnologias facilitadoras — que incluem inteligência artificial, gêmeos digitais, IoT e sistemas ciberfísicos — desempenham um papel essencial na redução do desperdício de recursos e no fortalecimento de práticas sustentáveis. Outro mecanismo relevante é a adoção da circularidade, também chamada de economia circular (EC), que vem ganhando destaque como uma abordagem estratégica para enfrentar simultaneamente a escassez de recursos e os impactos ambientais. Segundo Iqbal et al. (2022), a Indústria 5.0 promove a EC por meio da redução, reciclagem e reutilização de matérias-primas, reconfigurando os processos produtivos para tornar-se mais eficiente e menos intensivo em consumo de recursos.

A EC tem sido amplamente reconhecida como uma das estratégias mais eficazes para enfrentar os desafios ambientais contemporâneos, conforme observado por Kessler et al. (2021), uma vez que permite a adaptação dos sistemas de produção às mudanças nos fluxos de materiais, favorece o reaproveitamento e minimiza os impactos ao meio ambiente. As implicações da Indústria 5.0 para a EC são diversas e podem envolver desde a integração de produtos inteligentes — que monitoram e aprimoram o desempenho ao longo do ciclo de vida — até o desenvolvimento de bens planejados para serem reciclados ao fim de sua vida útil (Ghobakhloo et al., 2023; Iqbal et al., 2022).

Entre as estratégias que promovem a sustentabilidade em consonância com a economia circular, destaca-se a rastreabilidade da origem de produtos e resíduos, medida que favorece a transparência e a responsabilidade na cadeia produtiva. De acordo com Khairul Akter et al. (2022), essa rastreabilidade pode ser viabilizada por meio da tecnologia blockchain, que oferece segurança e autenticidade na validação de dados, como argumentado por Arnold et al. (2023). Além disso, o passaporte digital do produto surge como um recurso complementar, consistindo em um conjunto de fichas técnicas desenvolvidas pelas empresas ao longo de toda a cadeia de valor — desde a produção inicial dos materiais até o descarte ou reaproveitamento final — como detalhado por Panza et al. (2023). Essa abordagem representa um avanço significativo na gestão sustentável de produtos e recursos, alinhando tecnologia e responsabilidade ambiental com os princípios centrais da Indústria 5.0.

4.6. SUSTENTABILIDADE NO SEGMENTO TÊXTIL

A indústria têxtil, além de produzir têxteis para consumo, também é uma significativa geradora de resíduos comerciais de materiais e vestuário, os quais podem ser agrupados em três categorias principais. A primeira refere-se aos resíduos de produção, que incluem subprodutos originados durante as diversas etapas do processo fabril, bem como itens danificados antes da comercialização e excedentes pós-compra descartados pelos consumidores. A segunda categoria contempla os resíduos pré-consumo, constituídos por produtos que se deterioram durante a fabricação ou nas lojas. Por fim, a terceira classe abrange os resíduos pós-consumo, gerados durante o uso e descarte dos produtos pelos

usuários finais. Embora o envio desses resíduos a aterros seja uma prática recorrente, estudos revelam que quanto mais próximo do estágio de concepção do produto, maiores são as possibilidades de reaproveitamento. Nos Estados Unidos, por exemplo, estima-se que cerca de 75% dos resíduos têxteis pré- consumo podem ser desviados de aterros por meio da reciclagem (Chand et al., 2023).

Um dos principais desafios enfrentados por essa indústria, tanto em países desenvolvidos quanto em economias emergentes, reside na mudança de prioridades operacionais, frequentemente marcadas por uma forte pressão para reduzir custos, mesmo em detrimento da proteção ambiental (Sardar et al., 2022). A economia circular, nesse contexto, surge como uma estratégia promissora para equilibrar as metas econômicas e ambientais, especialmente em um setor considerado o segundo mais poluente do mundo, abrangendo tanto a fase de produção quanto o pós-consumo (Ponnambalam et al., 2023; Marquesone et al., 2022). Contudo, conforme apontado por Luoma et al. (2022), sua implementação ainda está em estágio incipiente na indústria têxtil. Segundo Kessler et al. (2021), o papel da economia circular tem sido amplamente discutido em iniciativas como o Plano de Ação do Pacto Ecológico da União Europeia, propondo princípios estruturantes como eficiência energética, reutilização, reciclabilidade e reparabilidade de produtos. O paradigma vigente, ainda fortemente linear, envolve extração contínua de recursos naturais, processamento industrial, utilização dentro do sistema humano e posterior descarte — o que acarreta impactos ambientais significativos. Assim, a gestão de resíduos torna-se uma prioridade estratégica, voltada não apenas à redução do uso de matérias-primas e dos custos operacionais, mas também à mitigação dos danos ecológicos (Dursun et al., 2022; Turner e Oyekan, 2023).

Em contraposição ao modelo linear, a economia circular busca preservar o valor de produtos, componentes e materiais ao longo de todo o seu ciclo de vida, desde o design até o descarte, por meio de lógica reversa e planejamento integrado (Dwivedi et al., 2023; Abbate et al., 2023). Trstenjak et al. (2023) investigaram obstáculos à implementação de cadeias logísticas digitais e sustentáveis, revelando que empresas croatas de médio e grande porte demonstram maior envolvimento com tecnologias verdes do que as microempresas. Curiosamente, constataram que o entrave financeiro não foi o principal fator limitante, mas sim a falta de tempo, indisponibilidade de soluções tecnológicas e resistência à mudança por parte dos trabalhadores — desafios comuns à transição para os paradigmas das Indústrias 4.0 e 5.0. Complementarmente, Arnold et al. (2023) aplicaram um questionário junto a representantes do setor têxtil com o objetivo de identificar medidas para impulsionar a economia circular. Os resultados apontam para a importância da definição de regulamentações claras, da oferta de incentivos e apoio financeiro, da promoção da educação, da cooperação entre stakeholders, da construção de estratégias de diferenciação e empreendedorismo, bem como da adoção de ferramentas de gestão voltadas à circularidade.

No panorama internacional, observa-se um comportamento desigual entre países. Nações desenvolvidas tendem a adotar com maior rapidez as tecnologias e filosofias sustentáveis, enquanto países em desenvolvimento demonstram menor aderência — o que representa um entrave importante, já que a indústria têxtil é fortemente concentrada em economias emergentes (Chowdhury et al., 2023). No tocante ao mercado de produtos reciclados, Ponnambalam et al. (2023) destacam que a demanda ainda é baixa, influenciada por tendências do fast fashion, que privilegia variedade e baixo custo. Essa realidade configura um desafio a ser enfrentado pelas práticas circulares.

Kazancoglu et al. (2020) classificam as barreiras à implementação da economia circular em nove grandes categorias: gestão e tomada de decisão, mão de obra, desafios de design, materiais, legislação, conhecimento, integração e colaboração, custo e infraestrutura técnica. Huang et al. (2021) propõem uma categorização semelhante, apontando fatores limitantes de ordem governamental e regulatória, econômica, tecnológica, social, organizacional, infraestrutural, de cadeia de suprimentos e de mercado.

Diante desse cenário, a transição da Indústria Têxtil da era 4.0 para a 5.0 exige uma reorientação centrada no ser humano como elemento chave da inovação. Para superar os desafios da nova fase industrial, é imprescindível o desenvolvimento de programas de capacitação contínua e aquisição de competências relevantes, além de uma gestão eficaz da transição, utilizando-se das tecnologias emergentes da Indústria 5.0 como catalisadoras da eficiência, sustentabilidade e renovação do setor (Kazancoglu et al., 2023).

4.7. DESAFIOS

Os desafios enfrentados pela indústria têxtil na transição para a Indústria 5.0 refletem em grande parte as dificuldades encontradas por diversos setores nesse processo de mudança. No entanto, especificamente na indústria têxtil, destaca-se uma urgência ainda maior quanto às questões ambientais, uma vez que este é considerado o segundo setor mais poluente do mundo, impactando significativamente tanto na fase de produção quanto no estágio pós-consumo (Marquesone et al., 2022). A falta de diretrizes claras voltadas à sustentabilidade, tanto em escala industrial quanto global, acentua esse panorama desafiador e dificulta a tomada de decisões eficazes nesse campo (Turner e Oyekan, 2023). Segundo Humayun (2021), os principais obstáculos à implementação da Indústria 5.0 incluem o elevado custo inicial de transição, a necessidade de investimentos em tecnologias que ainda não oferecem plena precisão, e barreiras técnicas que afetam diretamente pequenos empreendedores e startups. Soma-se a isso uma lacuna significativa de competências entre os trabalhadores, a qual contribui para a polarização dos empregos e reforça a necessidade de programas de qualificação contínua voltados à adaptação tecnológica. Questões relacionadas à regulamentação de sistemas automatizados em situações de falha também representam entraves, juntamente com os desafios de adaptar processos tradicionais à incorporação de novas tecnologias. Por fim, destaca-se a exigência de uma personalização em massa orientada ao cliente, o que demanda flexibilidade para atender às rápidas mudanças nas preferências do consumidor.

No contexto de uma produção centrada no ser humano — princípio-chave da Indústria 5.0 — torna-se fundamental configurar a tecnologia de forma amigável, confiável e ética. A adoção ampla de sistemas inteligentes nos ambientes de trabalho depende diretamente da confiança dos usuários nas ferramentas digitais empregadas. Para que essa integração seja bem-sucedida, é essencial que tais tecnologias demonstrem responsabilidade em relação à privacidade e operem sob protocolos validados por políticas éticas e transparentes (Sharma et al., 2024). A formação contínua dos profissionais da indústria torna-se, nesse cenário, um fator indispensável, não apenas para garantir uma interação eficiente entre seres humanos e máquinas, mas também para otimizar o desempenho das equipes e ampliar as oportunidades de desenvolvimento de carreira (Lu et al., 2022).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As considerações finais deste capítulo destacam a Indústria 5.0 como um novo marco evolutivo que não apenas dá continuidade ao avanço tecnológico iniciado pela Indústria 4.0, mas também reposiciona o ser humano e a sustentabilidade como elementos centrais das operações industriais. Essa nova lógica propõe uma conciliação entre automação inteligente e responsabilidade socioambiental, colocando o bem-estar dos trabalhadores e a preservação do meio ambiente como prioridades estratégicas. No contexto da indústria têxtil, essa transição representa uma oportunidade singular para redefinir seus sistemas produtivos, com a incorporação de tecnologias avançadas como a Internet das Coisas, inteligência artificial e sistemas ciberfísicos, aliada à adoção de práticas sustentáveis e socialmente inclusivas.

Apesar das perspectivas promissoras, essa mudança de paradigma impõe desafios significativos, entre os quais se destacam a modernização dos equipamentos, o investimento em tecnologias emergentes e a qualificação contínua da força de trabalho. Para que a implementação da Indústria 5.0 ocorra de maneira eficaz e equitativa, torna-se indispensável a construção de alianças entre governos, empresas e instituições de ensino. A formulação de políticas públicas específicas, o oferecimento de incentivos financeiros e o acesso ampliado a programas de capacitação são medidas essenciais para preparar os profissionais para os novos papéis exigidos pela revolução industrial centrada no humano.

Em síntese, a Indústria 5.0 não apenas promete ganhos em eficiência e produtividade, mas também oferece a possibilidade concreta de transformação do ambiente industrial em um espaço mais ético, sustentável e voltado à valorização humana. Ao integrar esses princípios em sua estrutura produtiva, a indústria têxtil pode assumir um papel de protagonismo no cenário da inovação responsável, contribuindo não apenas para o crescimento econômico, mas também para o bem-estar coletivo e o equilíbrio ambiental.

No tocante à construção deste trabalho, pautado em revisão de literatura, observou-se uma limitação notável no número de estudos aplicados sobre Indústria 5.0. A maioria das publicações concentra-se em abordagens teóricas, com escassa exploração de aplicações práticas. Diante disso, recomenda-se que futuras pesquisas aprofundem as possibilidades de aplicação da Indústria 5.0 em diferentes setores produtivos, adotando perspectivas empíricas que ampliem o conhecimento prático e fortaleçam a implementação efetiva desse novo modelo industrial.

REFERÊNCIAS

[1] MORAES, Maria Renata. Síntese e caracterização de líquidos iônicos próticos com base catiônica 2-hidroxi trietilamônio: Solubilidade de corantes têxteis. Disponível em: <http://repositorio.uem.br:8080/jspui/handle/1/6583>.

[2] **ARAÚJO, M.; CASTRO**, E.M.M. Manual de engenharia têxtil. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, v.2, pp.695-1634, 1984.

[3] COELHO, P. *et al*. Industry 5.0: The Arising of a Concept. **Procedia Computer Science,** v. 217, p. 1137-1144, 2023/01/01/ 2023. ISSN 1877-0509. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050922023973>.

[4] GOLOVIANKO, M. *et al*. Industry 4.0 vs. Industry 5.0: Co-existence, Transition, or a Hybrid. **Procedia Computer Science,** v. 217, p. 102-113, 2023/01/01/ 2023. ISSN 1877-0509. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050922022840>.

[5] HILARY, A. O'malley Lisa. 2005. Scoping studies: Towards a methodological framework.

International Journal of Social Research Methodology, v. 8, n. 1, p. 19-32, 2005.

[6] HUANG, S. *et al*. Industry 5.0 and Society 5.0—Comparison, complementation and co- evolution. **Journal of Manufacturing Systems,** v. 64, p. 424-428, 2022/07/01/ 2022. ISSN 0278- 6125. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278612522001224>.

[7] LENG, J. *et al*. Industry 5.0: Prospect and retrospect. **Journal of Manufacturing Systems,** v. 65, p. 279-295, 2022/10/01/2022. ISSN 0278-6125. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278612522001662>.

[8] NAHAVANDI, S. Industry 5.0—A human-centric solution. **Sustainability,** v. 11, n. 16, p. 4371, 2019. ISSN 2071-1050.

[9] SANCHES, K. D. S.; RABIN, E. G.; TEIXEIRA, P. T. D. O. Cenário da publicação científica dos últimos 5 anos sobre cuidados paliativos em oncologia: revisão de escopo. **Revista da Escola de Enfermagem da USP,** v. 52, 2018. ISSN 0080-6234.

[10] HERMANN, Mario; PENTEK, Tobias; OTTO, Boris. Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios. *In*: 2016 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS). [s.l.]: IEEE, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1109/hicss.2016.488>. Acesso em: 1 Oct. 2023.

[11] PASQUINI, Nilton Cesar. AS REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS: UMA ABORDAGEM CONCEITUAL. Revista Tecnológica da Fatec Americana, v. 08, n. 01, p. 29–44, 2014.

[12] SAKURAI, R.; ZUCHI, J. D. REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS ATÉ A INDUSTRIA 4.0. Revista Interface Tecnológica, v. 15, n. 2, p. 480–491, 30 dez. 2018.

[13] Industry 5.0. Researchandinnovation. Disponível em: <https://research-and-innovation.ec.europa.eu/research-area/industrial-research-and-innovation/industry-50_pt>. Acessoem: 28 Sep. 2023.

[14] GLADYSZ, Bartlomiej; TRAN, Tuan-anh; ROMERO, David; *et al*. Current development on the Operator 4.0 and transition towards the Operator 5.0: A systematic literature review in light of Industry 5.0. Journal of Manufacturing Systems, v. 70, p. 160–185, 2023.

[15] TOOLS, Desoutter. Industrial Revolution - From Industry 1.0 to Industry 4.0. Desoutter Tools, 2018. Disponível em: <https://www.desouttertools.com/your-industry/news/503/industrial- revolution-from-industry-1-0-to-industry-4-0>. Acesso em: 28 Sep. 2023.

[16] NARA, Elpidio Oscar Benitez; DA COSTA, Matheus Becker; BAIERLE, Ismael Cristofer; *et al*. Expected impact of industry 4.0 technologies on sustainable development: A study in the context of Brazil's plastic industry. **Sustainable Production and Consumption**, v. 25, p. 102– 122, 2021.

[17] VIEW, Log in or sign up to. The Evolution of Industry 1.0 to 4.0 and Beyond. Tech-Labs. Disponível em: <https://tech-labs.com/blog/evolution-industry-10-40-and-beyond>. Acesso em: 28 Sep. 2023.

[18] HUANG, Sihan; WANG, Baicun; LI, Xingyu; *et al*. Industry 5.0 and Society 5.0— Comparison, complementation and co-evolution. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 64, p. 424–428, 2022.

[19] KOLADE, Oluwaseun; OWOSENI, Adebowale. Employment 5.0: The work of the future and the future of work. **Technology in Society**, v. 71, p. 102086, 2022.

[20] RAJA SANTHI, Abirami; MUTHUSWAMY, Padmakumar. Industry 5.0 or industry 4.0S? Introduction to industry 4.0 and a peek into the prospective industry 5.0 technologies. **International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)**, v. 17, n. 2, p. 947– 979, 2023.

[21] TRAN, Tuan-Anh; RUPPERT, Tamas; EIGNER, Gyorgy; *et al*. Retrofitting-Based Development of Brownfield Industry 4.0 and Industry 5.0 Solutions. **IEEE Access**, v. 10, p. 64348–64374, 2022.

[22] HUMAYUN, Mamoona. Industrial Revolution 5.0 and the Role of Cutting Edge Technologies. **International Journal of Advanced Computer Science and Applications**, v. 12, n. 12, 2021.

[23] ADEL, Amr. Future of industry 5.0 in society: human-centric solutions, challenges and prospective research areas. **Journal of Cloud Computing**, v. 11, n. 1, 2022.

[24] FATIMA, Zainab; TANVEER, Muhammad Hassan; WASEEMULLAH; *et al*. Production Plant and Warehouse Automation with *IoT* and Industry 5.0. **Applied Sciences**, v. 12, n. 4, p. 2053, 2022.

[25] IVANOV, Dmitry. The Industry 5.0 framework: viability-based integration of the resilience,

sustainability, and human-centricity perspectives. **International Journal of Production Research**, v. 61, n. 5, p. 1683–1695, 2022.

[26] GHOBAKHLOO, Morteza; IRANMANESH, Mohammad; FOROUGHI, Behzad; *et al*. Industry 5.0 implications for inclusive sustainable manufacturing: An evidence-knowledge-based strategic roadmap. **Journal of Cleaner Production**, v. 417, p. 138023, 2023.

[27] KARMAKER, Chitra Lekha; BARI, A.B.M. Mainul; ANAM, Md. Zahidul; *et al*. Industry 5.0 challenges for post-pandemic supply chain sustainability in an emerging economy. **International Journal of Production Economics**, v. 258, p. 108806, 2023.

[28] BEN YOUSSEF, Adel; MEJRI, Issam. Linking Digital Technologies to Sustainability through Industry 5.0: A bibliometric Analysis. **Sustainability**, v. 15, n. 9, p. 7465, 2023.

[29] R, Raffik; SATHYA, Rithish Ramamoorthy; V, Vaishali; *et al*. Industry 5.0: Enhancing Human-Robot Collaboration through Collaborative Robots – A Review. *In*: **2023 2nd International Conference on Advancements in Electrical, Electronics, Communication, Computing and Automation (ICAECA)**. [s.l.]: IEEE, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1109/icaeca56562.2023.10201120>. Acesso em: 22 Apr. 2024.

[30] KESSLER, Lisa; MATLIN, Stephen A.; KÜMMERER, Klaus. The contribution of material circularity to sustainability—Recycling and reuse of textiles. **Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry**, v. 32, p. 100535, 2021.

[31] TRSTENJAK, Maja; MUSTAPIĆ, Miljenko; GREGURIĆ, Petar; *et al*. Use of Green Industry 5.0 Technologies in Logistics Activities. Tehnički glasnik, v. 17, n. 3, p. 471–477, 2023.

[32] CHAND, Sujata; CHAND, Sasmita; RAULA, Bauri. Textile and apparel industries waste and its sustainable management approaches. Journal of Material Cycles and Waste Management, v. 25, n. 6, p. 3132–3143, 2023.

[33] LENG, Jiewu; SHA, Weinan; WANG, Baicun; *et al*. Industry 5.0: Prospect and retrospect. Journal of Manufacturing Systems, v. 65, p. 279–295, 2022.

[34] GHOBAKHLOO, Morteza; IRANMANESH, Mohammad; TSENG, Ming-Lang; *et al*. Behind the definition of Industry 5.0: a systematic review of technologies, principles, components, and values. **Journal of Industrial and Production Engineering**, v. 40, n. 6, p. 432–447, 2023.

[35] NARKHEDE, Ganesh; PASI, Bhaveshkumar; RAJHANS, Neela; *et al*. Industry 5.0 and the future of sustainable manufacturing: A systematic literature review. Business Strategy & Development, v. 6, n. 4, p. 704–723, 2023.

[36] KHOSRAVY, Mahdi; GUPTA, Neeraj; PASQUALI, Antoine; *et al*. Human-Collaborative Artificial Intelligence Along With Social Values in Industry 5.0: A Survey of the State-of-the-Art. IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems, v. 16, n. 1, p. 165–176, 2024.

[37] ESPINA-ROMERO, Lorena; GUERRERO-ALCEDO, Jesús; GOÑI AVILA, Niria; *et al*. Industry 5.0: Tracking scientific activity on the most influential industries, associated topics, and future research agenda. Sustainability, v. 15, n. 6, p. 5554, 2023.

[38] IQBAL, Misbah; LEE, Carman K M; REN, J Z. Industry 5.0: From Manufacturing Industry to Sustainable Society. *In*: **2022 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)**. [s.l.]: IEEE, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1109/ieem55944.2022.9989705>. Acesso em: 3 May 2024.

[39] YANG, Jialu; LIU, Tianyuan; LIU, Ying; *et al*. Review of Human-Machine Interaction Towards Industry 5.0: Human-Centric Smart Manufacturing. *In*: **Volume 2: 42nd Computers and Information in Engineering Conference (CIE)**. [s.l.]: American Society of Mechanical Engineers, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1115/detc2022-89711>. Acesso em: 6 May 2024.

[40] EMMA-IKATA, Diseph; DOYLE-KENT, Mary. Industry 5.0 Readiness – "Optimization of the Relationship between Humans and Robots in Manufacturing Companies in Southeast of Ireland." **IFAC-PapersOnLine**, v. 55, n. 39, p. 419–424, 2022.

[41] ALOJAIMAN, Bader. Technological Modernizations in the Industry 5.0 Era: A Descriptive Analysis and Future Research Directions. **Processes**, v. 11, n. 5, p. 1318, 2023.

[42] DWIVEDI, Ashish; AGRAWAL, Dindayal; JHA, Ajay; *et al*. Studying the interactions among

Industry 5.0 and circular supply chain: Towards attaining sustainable development. **Computers & Industrial Engineering**, v. 176, p. 108927, 2023.

[43] KALATEH, Sepideh; ESTRADA-JIMENEZ, Luis A.; PULIKOTTIL, Terrin; *et al*. The human role in Human-centric Industry. *In*: **IECON 2022 – 48th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society**. [s.l.]: IEEE, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1109/iecon49645.2022.9968440>. Acesso em: 9 May 2024.

[44] SUAN CHIN, Susan Tee. Influence of Emotional Intelligence on the Workforce for Industry 5.0. **Journal of Human Resources Management Research**, p. 1–7, 2021.

[45] ZIZIC, Marina Crnjac; MLADINEO, Marko; GJELDUM, Nikola; *et al*. From Industry 4.0 towards Industry 5.0: A Review and Analysis of Paradigm Shift for the People, Organization and Technology. **Energies**, v. 15, n. 14, p. 5221, 2022.

[46] MADDIKUNTA, Praveen Kumar Reddy; PHAM, Quoc-Viet; B, Prabadevi; *et al*. Industry 5.0: A survey on enabling technologies and potential applications. **Journal of Industrial Information Integration**, v. 26, p. 100257, 2022.

[47] LONGO, Francesco; PADOVANO, Antonio; UMBRELLO, Steven. Value-Oriented and Ethical Technology Engineering in Industry 5.0: A Human-Centric Perspective for the Design of the Factory of the Future. **Applied Sciences**, v. 10, n. 12, 2020.

[48] CARAYANNIS, Elias G.; MORAWSKA-JANCELEWICZ, Joanna. The Futures of Europe: Society 5.0 and Industry 5.0 as Driving Forces of Future Universities. **Journal of the Knowledge Economy**, v. 13, n. 4, p. 3445–3471, 2022.

[49] BAIG, Maria Ijaz; YADEGARIDEHKORDI, Elaheh. Industry 5.0 applications for sustainability: A systematic review and future research directions. **Sustainable Development**, v. 32, n. 1, p. 662–681, 2023.

[50] ROMERO, David; STAHRE, Johan. Towards The Resilient Operator 5.0: The Future of Work in Smart Resilient Manufacturing Systems. **Procedia CIRP**, v. 104, p. 1089–1094, 2021.

[51] SARDAR, Shaheen; MOHSIN, Muhammad; SAAD MEMON, Muhammad; *et al*. An empirical study regarding the environmental sustainability practices in the textile industry. **Industria Textila**, v. 73, n. 04, p. 384–396, 2022.

[52] SINDHWANI, Rahul; AFRIDI, Shayan; KUMAR, Anil; *et al*. Can industry 5.0 revolutionize the wave of resilience and social value creation? A multi-criteria framework to analyze enablers. **Technology in Society**, v. 68, p. 101887, 2022.

[53] PANZA, Luigi; BRUNO, Giulia; LOMBARDI, Franco. Integrating Absolute Sustainability and Social Sustainability in the Digital Product Passport to Promote Industry 5.0. **Sustainability**, v. 15, n. 16, p. 12552, 2023.

[54] KHAIRUL AKTER, Maeen Md.; HAQ, Upama Nasrin; ISLAM, Md. Mazedul; *et al*. Textile- apparel manufacturing and material waste management in the circular economy: A conceptual model to achieve sustainable development goal (SDG) 12 for Bangladesh. **Cleaner Environmental Systems**, v. 4, p. 100070, 2022.

[55] CHOWDHURY, Naimur Rahman; PAUL, Sanjoy Kumar; SARKER, Tapan; *et al*. Implementing smart waste management system for a sustainable circular economy in the textile industry. **International Journal of Production Economics**, v. 262, p. 108876, 2023.

[56] KAZANCOGLU, Ipek; KAZANCOGLU, Yigit; YARIMOGLU, Emel; *et al*. A conceptual framework for barriers of circular supply chains for sustainability in the textile industry. **Sustainable Development**, v. 28, n. 5, p. 1477–1492, 2020.

[57] PONNAMBALAM, S. G.; SANKARANARAYANAN, Bathrinath; KARUPPIAH, Koppiahraj; *et al*. Analysing the Barriers Involved in Recycling the Textile Waste in India Using Fuzzy DEMATEL. **Sustainability**, v. 15, n. 11, p. 8864, 2023.

[58] FREDERICO, Guilherme F. From supply chain 4.0 To supply chain 5.0: Findings from a systematic literature review and research directions. **Logistics**, v. 5, n. 3, p. 49, 2021.

[59] KAZANCOGLU, Yigit; MANGLA, Sachin Kumar; BERBEROGLU, Yalcin; *et al*. Towards Industry 5.0 Challenges for The Textile and Apparel Supply Chain for The Smart, Sustainable, and Collaborative

Industry in Emerging Economies. **Information Systems Frontiers**, 2023.

[60] LUOMA, Päivi; PENTTINEN, Esko; TAPIO, Petri; *et al*. Future images of data in circular economy for textiles. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 182, p. 121859, 2022.

[61] ARNOLD, Marlen Gabriele; PFAFF, Constanze; PFAFF, Thomas. Circular Business Model Strategies Progressing Sustainability in the German Textile Manufacturing Industry. **Sustainability**, v. 15, n. 5, p. 4595, 2023.

[62] MARQUESONE, Rosangela de Fátima Pereira; CARVALHO, Tereza Cristina Melo de Brito. Examining the Nexus between the Vs of *Big Data* and the Sustainable Challenges in the Textile Industry. **Sustainability**, v. 14, n. 8, p. 4638, 2022.

[63] DURSUN, Elif; ULKER, Yasemin; GUNALAY, Yavuz. *Blockchain*'s potential for waste management in textile industry. **Management of Environmental Quality: An International Journal**, v. 34, n. 4, p. 1174–1197, 2022.

[64] PAL, Kamalendu; YASAR, Ansar-Ul-Haque. Internet of Things and *Blockchain* Technology in Apparel Manufacturing Supply Chain Data Management. **Procedia Computer Science**, v. 170, p. 450–457, 2020.

[65] ABBATE, Stefano; CENTOBELLI, Piera; CERCHIONE, Roberto; *et al*. Sustainability trends and gaps in the textile, apparel and fashion industries. **Environment, Development and Sustainability**, v. 26, n. 2, p. 2837–2864, 2023.

[66] LU, Yuqian; ZHENG, Hao; CHAND, Saahil; *et al*. Outlook on human-centric manufacturing towards Industry 5.0. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 62, p. 612–627, 2022.

[67] SHARMA, Mahak; SEHRAWAT, Rajat; LUTHRA, Sunil; *et al*. Moving Towards Industry 5.0 in the Pharmaceutical Manufacturing Sector: Challenges and Solutions for Germany. **IEEE Transactions on Engineering Management**, p. 1–18, 2024.

[68] HUANG, Yi-Fen; AZEVEDO, Susana Garrido; LIN, Tung-Jung; *et al*. Exploring the decisive barriers to achieve circular economy: Strategies for the textile innovation in Taiwan. Sustainable Production and Consumption, v. 27, p. 1406–1423, 2021.

[69] TURNER, Chris; OYEKAN, John; GARN, Wolfgang; *et al*. Industry 5.0 and the Circular Economy: Utilizing LCA with Intelligent Products. Sustainability, v. 14, n. 22, p. 14847, 2022.

[70] MOURTZIS, Dimitris; ANGELOPOULOS, John; PANOPOULOS, Nikos. A Literature Review of the Challenges and Opportunities of the Transition from Industry 4.0 to Society 5.0. **Energies**, v. 15, n. 17, p. 6276, 2022.

[71] CORONADO, Enrique; KIYOKAWA, Takuya; RICARDEZ, Gustavo A. Garcia; *et al*. Evaluating quality in human-robot interaction: A systematic search and classification of performance and human-centered factors, measures and metrics towards an industry 5.0. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 63, p. 392–410, 2022.

[72] TURNER, Chris; OYEKAN, John. Manufacturing in the Age of Human-Centric and Sustainable Industry 5.0: Application to Holonic, Flexible, Reconfigurable and Smart Manufacturing Systems. **Sustainability**, v. 15, n. 13, p. 10169, 2023.

[73] PAL, Kamalendu; YASAR, Ansar-Ul-Haque. Internet of Things and *Blockchain* Technology in Apparel Manufacturing Supply Chain Data Management. **Procedia Computer Science**, v. 170, p. 450–457, 2020.

Capítulo 6

Estudo de caso: avaliação da qualidade da água em diferentes estações do ano

Iran Roberto Macedo da Silva
José Glênio Medeiros de Barros
Nilo Antonio de Souza Sampaio

Resumo: Este estudo teve como objetivo demonstrar a aplicação ambientl da ferramenta estatística Análise de Variância. Para atingir esse objetivo, esse teste foi aplicado a dados de um rio na regiõ sul do estado do Rio de Janeiro. Vale ressaltar que os dados são inteiramente empíricos, obtidos por amostragem no local.

Palavras-chave: Software Estatístico, Testes Estatísticos Paramétricos, t ANOVA.

1. INTRODUÇÃO

A Estatística tem papel fundamental na análise e interpretação de dados ambientais, sendo uma ferramenta essencial para a compreensão de fenômenos ecológicos, monitoramento de recursos naturais, avaliação de impactos ambientais e definição de políticas públicas sustentáveis. Por meio de métodos estatísticos, é possível coletar, organizar e interpretar grandes volumes de dados provenientes de diferentes fontes, como sensores remotos, estações meteorológicas e estudos de campo. Na área ambiental, a Estatística é amplamente utilizada no monitoramento da qualidade do ar e da água, análise de séries temporais climáticas, modelagem da dispersão de poluentes, estudos de biodiversidade, entre outras aplicações. A análise estatística permite, por exemplo, identificar tendências de aquecimento global, prever eventos extremos como enchentes e secas, e avaliar os efeitos de atividades humanas sobre o meio ambiente (Machado, G. A.; Lima, 2011).

Análise de variância é a técnica estatística que permite avaliar afirmações sobre as médias de populações. A análise visa, fundamentalmente, verificar se existe uma diferença significativa entre as médias e se os fatores exercem influência em alguma variável dependente. A análise de variância compara médias de diferentes populações para verificar se essas populações possuem médias iguais ou não. Assim, essa técnica permite que vários grupos sejam comparados a um só tempo. Em outras palavras, a análise de variância é utilizada quando se quer decidir se as diferenças amostrais observadas são reais (causadas por diferenças significativas nas populações observadas) ou casuais (decorrentes da mera variabilidade amostral). Portanto, essa análise parte do pressuposto que o acaso só produz pequenos desvios, sendo as grandes diferenças geradas por causas reais (Brant-Ribeiro & Cattelan, 2018).

O objetivo deste artigo é mostrar a aplicação da Análise de Variância (ANOVA) para quatro grupo com dez amostras cada um em uma aplicação ambiental. Inicialmente, o artigo abordará os conceitos de Pressupostos Estatísticos e Análise de Variância. Em seguida, serão apresentados os resultados e as discussões dos objetivos propostos, e será apresentada uma aplicação ambiental. Por fim, será apresentada as Conclusões.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A Análise de Variância, ou ANOVA, é um teste estatístico usado para comparar as médias de dois ou mais grupos, determinando se há diferenças significativas entre elas. É uma ferramenta poderosa para identificar se as diferenças observadas são genuínas ou se resultam apenas da variabilidade natural dos dados. Em termos mais simples, a ANOVA ajuda a responder à pergunta: "Existe alguma diferença real entre os grupos que estamos comparando, ou as diferenças que vemos são apenas devido ao acaso?" (Paese et al., 2001).

A ANOVA analisa a variabilidade total dos dados e a divide em diferentes fontes de variação, como:

- Variação entre grupos: Reflete as diferenças entre as médias dos grupos que estamos comparando.
- Variação dentro dos grupos: Reflete a variabilidade dentro de cada grupo individual.

Na Análise de Variância existe uma Hipótese Nula (Ho) que diz que em todos os grupos são iguais e uma Hipótese Alternativa (H1) que diz que existe pelo menos um grupo diferente dos demais.

- Se o valor-p < 0.05, há diferença estatisticamente significativa entre pelo menos duas estações.
- Se o valor-p ≥ 0.05, não há evidência suficiente para afirmar que as médias são diferentes.

Para realização da Anova é necessário realizar os chamados Pressupostos Estatísticos de Normalidade e Homoscedacidade.

O teste de Anderson-Darling é um teste estatístico de aderência (ou bondade de ajuste) utilizado para verificar se uma amostra de dados segue uma determinada distribuição teórica, comumente a distribuição normal**.** Desenvolvido por Theodore Wilbur Anderson e Donald A. Darling em 1952, esse teste é considerado uma extensão do teste de Kolmogorov-Smirnov, incorporando um peso maior nas caudas da distribuição, o que o torna mais sensível a desvios extremos. (Scholz & Stephens, 2012).

O teste de Homocedasticidade, ou teste de homogeneidade de variâncias, é um procedimento estatístico usado para verificar se a variância de um conjunto de dados é constante em diferentes níveis de uma variável independente. Em termos mais simples, ele verifica se a dispersão dos dados é a mesma em todos os grupos ou níveis que estão sendo comparados (Neto et al., 2003).

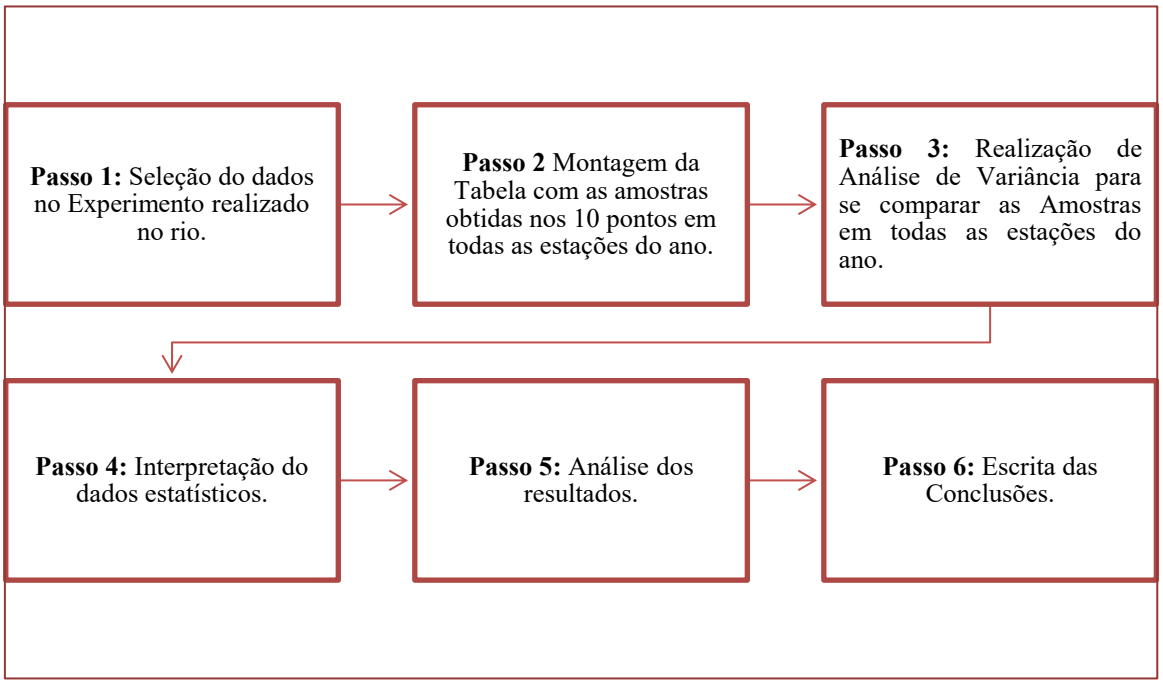
O Teste de Shapiro-Wilk é um teste estatístico usado para avaliar se um conjunto de dados segue uma distribuição normal. Ele é frequentemente utilizado como um teste de normalidade para verificar se os dados se encaixam bem em uma distribuição gaussiana, um pressuposto comum em muitas análises estatística (Santos & Ferreira, 2003).

3. MÉTODO DE PESQUISA

Este artigo pode ser classificado como uma pesquisa aplicada, pois visa a fornecer melhorias na literatura atual, com objetivos empíricos normativos, visando ao desenvolvimento de políticas e estratégias que melhorarão a condição atual. (Rezende et al., 2023; Sampaio et al., 2022). A abordagem do problema é quantitativa, como o método de pesquisa de modelagem e simulação. As etapas da pesquisa foram realizadas de acordo com a sequência mostrada na Figura1.

- Etapa 1: Os dados experimentais foram selecionados de um experimento realizado no Rio Paraíba do Sul em dois pontos específicos.
- Etapa 2: Montagem da Tabela com as amostras obtidas nos 10 pontos em todas as estações do ano.
- Etapa 3: Realização de Análise de Variância para se comparar as Amostras em todas as estações do ano usando o software Minitab 19.
- Etapa 4: foi realizada a interpretação dos resultados.
- Etapa 5: a situação do problema foi analisada e as possíveis tomadas de decisão foram baseadas nos resultados obtidos.
- Etapa 6: As conclusões apresentadas no final deste artigo foram tiradas com base nos resultados obtidos nas etapas anteriores.

Figura 1. Passos do método de pesquisa



Fonte: Autores (2025).

3.1. ESTUDO DE CASO

As medições de Oxigênio Dissolvido em quatro estações do ano foram medidas em quatro estações do ano e os valores aparecem na Tabela 1.

Tabela 1. Amostras de Oxigênio Dissolvido em água em um ponto fixo do rio durante as quatro estações do ano

Amostra	Verão	Outono	Inverno	Primavera
1	5.2	6.3	8.1	7.0
2	5.4	6.0	7.9	6.9
3	5.1	6.1	8.3	7.2
4	5.3	6.2	8.0	7.1
5	5.5	6.4	7.8	7.3
6	5.6	6.3	8.2	7.0
7	5.2	6.5	8.1	7.2
8	5.1	6.2	7.9	6.8
9	5.4	6.3	8.0	7.1
10	5.3	6.1	8.2	7.0

Fonte: Autores (2025).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. ESTUDO DE CASO

Realizou-se uma coleta de água em 10 pontos do rio Paraíba do Sul nas quatro estações do ano e os dados da Tabela-1 mostram as dosagens de Oxigênio Dissolvido em mg/L. Sim, o nível de oxigênio dissolvido (OD) em corpos d'água pode indicar a presença de

poluição. Baixos níveis de OD geralmente são resultado da decomposição de matéria orgânica, como esgoto ou resíduos industriais, que consomem o oxigênio presente na água. Realizou-se inicialmente os cálculos dos pressupostos de Normalidade e Homoscedacidade e nenhum dos dois pressupostos foi violado, em seguida realizou-se uma ANOVA (Análise de Variância) com os dados tabelados e obteve-se os resultados seguintes:

Inicialmente a Média de cada uma das 4 estações do ano:

- Média Verão ≈ 5.31
- Média Outono ≈ 6.24
- Média Inverno ≈ 8.05
- Média Primavera ≈ 7.06
- Média Geral ≈ 6.66

A Tabela-2 mostra a ANOVA realizada com os resultados.

Tabela 2. Análise de Variância dos valores da Tabela 1

Fonte de Variação	SQ	GL	QM	F	p-valor
Entre Estações	19.70	3	6.57	85.26	< 0.0001
Dentro Estações	2.76	36	0.077		
Total	22.46	39			

Fonte: Autores (2025).

O valor de F = 85.26 é muito alto indicando que essa estatística de Fisher deve ser maior que o valor tabelado. Essa conclusão se confirma com o valor de p-valor < 0.0001, que é muito menor que 0.05 (Nível de significância de 5%), logo conclui-se que se deve rejeitar a Ho de que a média é a mesma em todas as estações e parte-se para o Teste de Tukey para se fazer as comparações múltiplas.

Realizando-se o Teste de Tukey calculou-se o calculo do HSD que é a mínima diferença significativa, valor acima do qual é necessário se ter as diferenças para se evidenciar uma diferença que tem valor.

Para $k = 4$ grupos e $df = 36$, com α=0.05:

- $q_{0.05,4,36} \approx 3.77$ (obtido de tabela ou software)

2. HSD (diferença mínima significativa)

$$\text{HSD} = 3.77 \cdot \sqrt{0.077/10} \approx 3.77 \cdot \sqrt{0.0077} \approx 3.77 \cdot 0.0877 \approx 0.3306$$

Em seguida realizou-se o cálculo das Diferenças entre as Médias e verificou-se que todas elas ultrapassam o valor de HSD, como pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 3: Diferenças entre médias em comparação com o HSD

Comparação	Diferença	Significativa? (>|HSD| ≈ 0.331)
Inverno – Verão	8.05 – 5.31 = **2.74**	✅ Sim
Inverno – Outono	8.05 – 6.24 = **1.81**	✅ Sim
Inverno – Primavera	8.05 – 7.06 = **0.99**	✅ Sim
Primavera – Verão	7.06 – 5.31 = **1.75**	✅ Sim
Primavera – Outono	7.06 – 6.24 = **0.82**	✅ Sim
Outono – Verão	6.24 – 5.31 = **0.93**	✅ Sim

Fonte: Autores (2025).

Percebe-se claramente que todas as diferenças ultrapassam o valor do HSD com um valor maior para a Diferença entre o Inverno e o verão. A menor média ocorre no verão onde ocorrem muitas chuvas e o arraste de material orgânico é maior aumentando o gasto de oxigênio para os micoorganismos consumirem esse material e faltando assim Oxigênio Dissolvido no rio. No Inverno quase não ocorrem chuvas e o arraste desse material é muito menor.

5. CONCLUSÔES

Rejeita-se a hipótese nula. Há diferenças estatisticamente significativas entre as estações do ano. Ou seja, o consumo de Oxigênio Dissolvido aumenta no Verão onde ocorre arraste de material orgânico e dimunui no Inverno onde pela falta das chuvas quase não ocorre arraste de material orgânico e o Oxigênio Dissolvido na água é maior.

REFERÊNCIAS

[1] Brant-Ribeiro, T., & Cattelan, R. (2018). Análise de Variância Fatorial do Desempenho de Estudantes sob a Influência de Aprimoramentos Progressivos em Plataformas de Apoio ao Ensino. *Anais Do XXIX Simpósio Brasileiro de Informática Na Educação (SBIE 2018)*, *1*(Cbie), 1233. https://doi.org/10.5753/cbie.sbie.2018.1233

[2] Machado, G. A.; Lima, M. I. S. (2011). *Estatística aplicada às ciências ambientais*. Blucher.

[3] Neto, F. C., Cristina, A., & Soares, N. (2003). *Inferência em Modelos Heteroced ´. 57*(2), 319–335.

[4] Paese, C., Caten, C. ten, & Ribeiro, J. L. D. (2001). Aplicação da análise de variância na implantação do CEP. *Production*, *11*(1), 17–26. https://doi.org/10.1590/s0103-65132001000100002

[5] Rezende, M. D., Rosa, C. S. da, Cardoso, R. P., Reis, J. S. da M., & Sampaio, N. A. de S. (2023). Statistics as a Tool for Decision Making in Agricultural and Environmental Experiments. *Revista de Gestão e Secretariado*, *14*(4), 5204–5217. https://doi.org/10.7769/gesec.v14i4.1978

[6] Sampaio, N. A. de S., Reis, J. S. da M., Espuny, M., Cardoso, R. P., Gomes, F. M., Pereira, F. M., Ferreira, L. C., Barbosa, M., Santos, G., & Silva, M. B. (2022). Contributions to the future of metaheuristics in the contours of scientific development. *Gestão & Produção*, *29*(1), 1–19. https://doi.org/10.1590/1806-9649-2022v29e099

[7] Santos, A. C. dos, & Ferreira, D. F. (2003). Definição do tamanho amostral usando simulação Monte Carlo para o teste de normalidade baseado em assimetria e curtose: I. Abordagem univariada. *Ciência e*

Agrotecnologia, *27*(2), 432–437. https://doi.org/10.1590/s1413-70542003000200025

[8] Scholz, F. W., & Stephens, M. A. (2012). K-Sample Anderson–Darling Tests. *Journal of the American Statistical Association*, *82*(399).

Capítulo 7

Desenvolvimento científico acerca da caracterização morfométrica de riachos urbanos

Silvio Pereira Neto
Lucas Otávio Lourenço Lima
Miriam Cleide Cavalcante de Amorim
Fernanda Águida Sousa de Deus
João Pedro de Brito Matias

Resumo: Este estudo objetiva apresentar um panorama do desenvolvimento científico relacionado à caracterização morfométrica de riachos, devido a sua relevância para a drenagem urbana e a mitigação dos impactos associados a alagamentos e inundações. Para tanto, fez-se prospectou-se artigos científicos na *Web of Science*, *Scopus* e OasisBR, entre os anos 2000 e 2023. A *Scopus* apresentou o maior número de resultados. Destacou-se o reduzido número de artigos e a necessidade de estudos neste foco.

Palavras-chave: Bacia hidrográfica, Drenagem, Prospecção científica, Recursos hídricos.

1. INTRODUÇÃO

Os riachos urbanos são cursos menores de água que integram uma rede aquífera, cuja divisão topográfica delimita sua bacia hidrográfica. Os riachos são componentes fundamentais do sistema de macrodrenagem das cidades, contudo, com o avanço da urbanização quase sempre sem planejamento, grande parte dos riachos e suas margens sofrem modificações por ocupações urbanas e despejo de resíduos, ao ponto de, segundo Nigro (2017), não serem mais reconhecidos como riachos, e sim como receptores de esgoto, que variam desde efluentes domésticos; industriais, e até resíduos agrícolas.

A caracterização morfométrica de bacias hidrográficas de riachos desempenha um papel crucial no planejamento, gestão e uso sustentável dos recursos hídricos (Abdeta et al., 2020). Onde a morfometria consiste na descrição gráfica de determinada rede de drenagem (Santos et al., 2014), sendo um importante instrumento para auxiliar projetos e planejamentos ambientais e na construção de planos diretores de uso e ocupação do solo.

De fato, o novo Marco Regulatório do Saneamento (Lei 14.026/2020) no Artigo 7º, encarrega a responsabilidade sobre a drenagem urbana aos municípios. No entanto, somente 17,4% dos 4.107 dos municípios contém Planos Diretores de Drenagem Urbana (PDDU) municipais (Brasil, 2021).

Atualmente, o uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) tem prevalecido, como metodologia para a caracterização morfométrica, sendo um sistema capaz de gerar Modelos Digitais de Elevação (MDEs) (Cardoso et al., 2006). Esses modelos fornecem informações quantitativas sobre os materiais e peculiaridades da área em análise (Tonello et al., 2006).

Nesse contexto, o estudo morfométrico de corpos hídricos pode contribuir para potenciais econômicos e sociais em uma determinada região de estudo (Silva et al., 2018). Sendo cada vez mais importante para a idealização de sistemas de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais (DMAP) eficaz e funcional (Zhou, 2014).

A prospecção científica tem como objetivo destacar o cenário atual de pesquisas direcionada a um tema específico, proporcionando uma conscientização sobre tópicos e termos relevantes (Liu et al., 2019).

Diversas são as bases científicas que podem ser consultadas em uma prospecção, entre elas a plataforma Web of Science, que oferece conteúdo interdisciplinar e original, sendo constantemente atualizada (Gao et al., 2018). Outra base é o Scopus, que possui uma autoridade em bases de dados (Severo et al., 2016). Também há a base OasisBR, que é capaz de oferecer dados e pesquisas científicas de pesquisadores brasileiros e portugueses (Carvalho-Segundo et al., 2017). Essas plataformas estão entre as mais notáveis bases de dados multidisciplinares (Jacso, 2005), por esse motivo foram escolhidas para este trabalho.

Nesse contexto, essa prospecção tem como perspectiva buscar artigos científicos que abordam a caracterização morfométrica de riachos urbanos e sua inter-relação com aspectos de drenagem urbana, nas bases de dados Web of Science, Scopus e OasisBR, bem como identificar a metodologia mais utilizada para obtenção da caracterização. Especificamente buscou-se riachos na região semiárida do Brasil e, com isso, compreender o cenário de estudos na área e identificar lacunas para pesquisas futuras.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A presente prospecção científica foi realizada em seis etapas: a escolha das bases científicas; busca de palavras-chave; definição das estratégias de busca; busca inicial de periódicos; busca com filtros e a análise das publicações encontradas.

A Etapa 1 baseou-se na escolha das bases de pesquisa. Optou-se por utilizar duas das principais bases de dados globais: Web of Science e Scopus, e a base nacional OasisBR para prospectar periódicos publicados no Brasil. A escolha dessas bases norteou-se, principalmente, em sua reputação, abrangência e qualidade dos conteúdos indexados (Wu et al., 2018; Severo et al., 2016; Carvalho-Segundo et al., 2014).

Definidas as bases, na Etapa 2, buscou-se definir as palavras-chaves que melhor representassem o tema e o objetivo do estudo. Definiu-se então dez palavras-chave: *Water resources; Stream; Drainage; Watershed; Morphometric Analysis; Morphometry; Geomorphology; Morphometric Characterization; QGIS e Geoprocessing.*

Em seguida as palavras foram inseridas nos campos de busca das bases e os resultados foram contabilizados. Escolheu-se para prosseguimento das buscas as cinco palavras com maior número de documentos retornados, as quais foram *Water resources; Stream; Drainage; Watershed; Morphometric Analysis.*

Após a análise das palavras-chave que obtiveram a maior quantidade de resultados, iniciou-se a Etapa 3 que consistiu em definir estratégias de busca, que consiste, basicamente, em utilizar combinações das palavras-chave para otimizar a precisão dos resultados, utilizando operadores booleanos e caracteres de truncagem. Nesta etapa (3), incluiu-se a palavra "*Semiarid*" (Semiárido) para alcançar artigos desenvolvidos com corpos hídricos na região semiárida do Brasil.

Posteriormente, na Etapa 4, foi realizada uma busca inicial de periódicos baseada nas estratégias escolhidas, sem a utilização de filtros, restringindo apenas o intervalo de tempo entre os anos 2000 e 2023.

Em seguida, na Etapa 5, foi realizado um refinamento na busca aplicando filtros específicos, como o tipo de documento, onde foi utilizado o filtro "*Article*" (artigo) para focar apenas em artigos científicos, e áreas temáticas, como "*Water Resources*" e "*Engineering*", para garantir que os estudos estejam relacionados a recursos hídricos e engenharia.

Com os resultados compilados, na Etapa 6, foram analisados os trabalhos encontrados. Durante essa análise, separou-se apenas os artigos sobre caracterização morfométrica.

Esta metodologia permite uma busca sistemática e abrangente de literatura relevante, garantindo que todas as publicações pertinentes sejam consideradas para análise. Além disso, a estrutura clara e replicável desta metodologia permite que outros pesquisadores reproduzam ou adaptem esta busca para seus próprios estudos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao buscar nas bases de dados escolhidas as palavras chaves (Etapa 2) foi observado os resultados conforme Tabela 1, classificando-as em ordem decrescente pelo número total de resultados da pesquisa, ou seja, a soma dos resultados das três bases.

Tabela 1. Quantitativo de documentos para cada palavra-chave na Scopus, OasisBR e Web of Science

Palavra	Scopus	WOS	Oasis BR	Total
Water resources	+1000000	526071	18688	**+1544759**
Stream	+1000000	417530	49314	**+1466844**
Drainage	552781	194748	9557	**757086**
Watershed	101919	81854	6146	**189919**
Morphometric Analysis	97305	38385	4260	**139950**
Morphometry	51905	42591	3660	**98156**
Geomorphology	49592	27749	2054	**79395**
Morphometric Characterization	59374	2776	675	**62825**
QGIS	10274	1800	1276	**13350**
Geoprocessing	1908	1496	3169	**6573**

Escolhidas as cinco palavras-chave que retornaram mais resultados, foi montado estratégia de busca utilizando essas palavras, conforme pode ser visto na Tabela 2, que apresenta as estratégias utilizadas, seguidas do quantitativo de documentos da busca realizada para cada base (Etapas 3 e 4).

Tabela 2. Quantitativo de documentos para cada estratégia na Scopus, OasisBR e Web of Science sem aplicação de filtros, para os anos entre 2000 e 2023

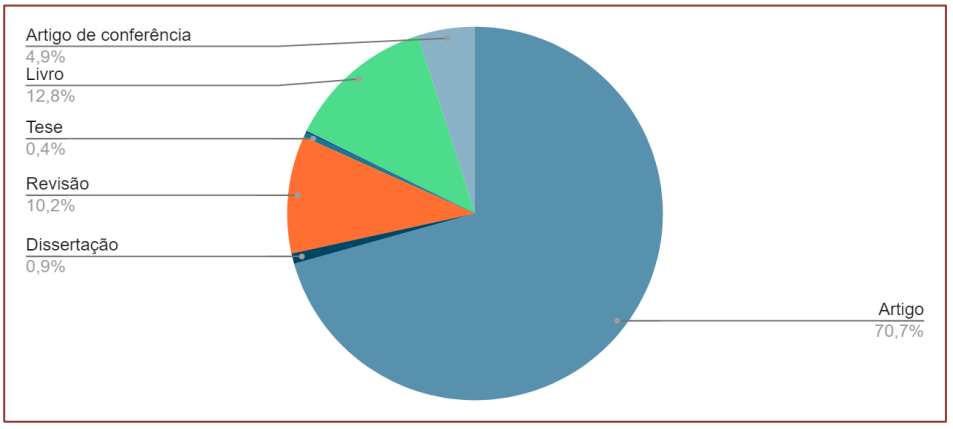
Estratégia	Scopus	WOS	OasisBR	Total
Morphometric Analysis AND *Watershed* AND *Stream*	378	228	34	**640**
Morphometric Analysis AND *Stream* AND *Drainage*	543	389	51	**983**
Morphometric Analysis AND *Stream* AND *Semiarid*	11	4	2	**17**
*Morphomet** AND *Watershed* AND *Stream*	492	328	60	**880**
Morphometric Analysis AND *Water resources*	398	580	139	**1117**
TOTAL	**1822**	**1529**	**286**	**3637**

Sem a utilização de filtros, a base que mais retornou resultado foi a Scopus (1.822), com a OasisBR foi retornado o menor número de resultado (286).

Observa-se que ao utilizar a estratégia "*Morphometric Analysis* AND *Stream* AND *Semiarid*" poucos foram os resultados retornados. Na base WOS os periódicos encontrados na busca foram da região semiárida de países como Arábia, Índia e Austrália, estudos que envolvem desde análises estatísticas de corpos hídricos urbanos a análise morfométrica de corpos hídricos de rios. Já na base OasisBR, onde foi encontrado dois resultados, o artigo de Chagas et al. (2022), no qual foi feito um estudo utilizando conhecimentos morfométricos para realizar uma modelagem hidrológica na região semiárida de Pernambuco, e a dissertação de Gomes (2015), que faz uma análise da degradação dos sistemas que compõem a microbacia hidrográfica do riacho Carrapateiras em Tauá-CE. Desses resultados discutidos, é observado que apenas dois periódicos são brasileiros e nenhum dos artigos dessas bases citadas tem por objetivo a caracterização morfométrica de riachos urbanos.

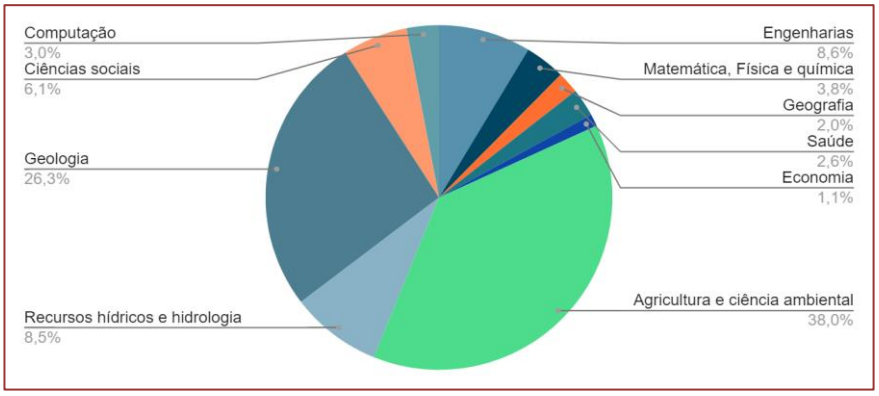
A partir dos resultados da Etapa 4, verificou-se diretamente nas bases que a maior parte dos resultados se referem a artigos científicos, correspondendo a uma parcela de 70,7%, como visto na Figura 1.

Figura 1. Tipos de documentos das cinco estratégias na Etapa 04



Ao consultar as principais áreas de pesquisa nas bases, percebe-se que as áreas de *Agricultura* e *Geologia* se destacam (Figura 2). No entanto, poucos resultados se referem à caracterização morfométrica propriamente dita, por esse motivo, optou-se pelas áreas subsequentes a essas, *Recursos Hídricos* e *Engenharia*, para a pesquisa.

Figura 2. Principais áreas de pesquisa para as cinco estratégias na Etapa 04



Assim, constatando que a maior parte dos documentos eram artigos, prosseguiu-se com a Etapa 5, quando foi utilizado o filtro "*Article*" (artigo) para focar apenas em artigos científicos, e áreas temáticas, como "*Water Resources*" e "*Engineering*", para garantir que os estudos estejam relacionados a recursos hídricos e engenharia (Tabela 3).

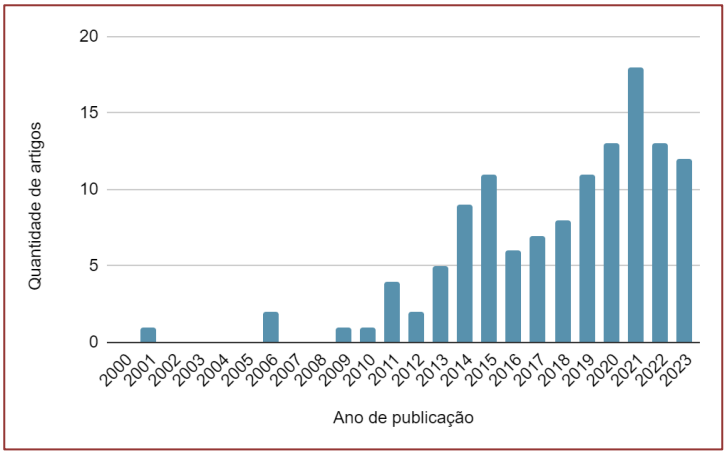
Tabela 3. Quantitativo de artigos ao se utilizar os filtros "*Article*" e as áreas "*Engineering*" e "*Water Resources*" aplicados

Estratégia	Scopus	WOS	OasisBR	Total
Morphometric Analysis AND *Watershed* AND *Stream*	42	77	11	**130**
Morphometric Analysis AND *Stream* AND *Drainage*	46	91	15	**152**
Morphometric Analysis AND *Stream* AND *Semiarid*	0	0	1	**1**
*Morphomet** AND *Watershed* AND *Stream*	50	108	22	**180**
Morphometric Analysis AND *Water resources*	33	135	30	**198**
TOTAL	**171**	**411**	**79**	**661**

Após essa pesquisa, utilizou-se a função de remover duplicatas do programa Microsoft Excel. Como resultado, encontraram-se 382 artigos totais nas três bases utilizadas. A análise subsequente do título e resumo desses artigos resultou na seleção de 123 artigos cujo assunto era a caracterização morfométrica de corpos hídricos.

Na Figura 3, vê-se o gráfico dos anos de publicação desses artigos selecionados, observando-se um pico no ano de 2021.

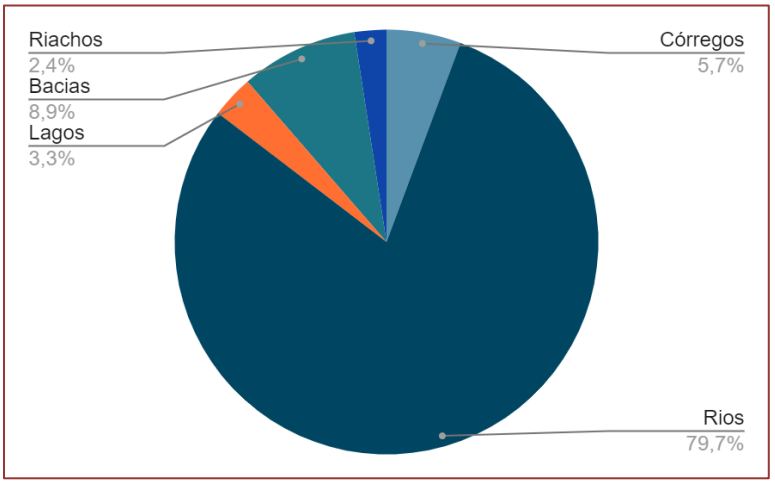
Figura 3. Anos de publicação dos artigos selecionados



Uma análise mais aprofundada desses 123 artigos revelou que a caracterização morfométrica foi realizada em diferentes tipos de corpos hídricos, sendo identificados 98 rios; quatro lagos, sete córregos e três riachos e 11 bacias hidrográficas que não identificaram o tipo de corpo hídrico (Figura 4).

Para o objetivo da pesquisa, considerou-se os córregos encontrados em uma na mesma categoria dos riachos, para que sejam analisados, pois compartilham características semelhantes e desempenham funções similares no ciclo hidrológico, posteriormente separando-os em urbanos e rurais. No entanto, mesmo ao agrupá-los, o número de artigos se mostra relativamente baixo se comparado com os rios, evidenciando a necessidade de estudos adicionais de riachos e córregos urbanos, principalmente aqueles inseridos no ambiente urbano.

Figura 4. Tipos de corpos hídricos dos artigos da Etapa 06



Após essa filtragem, foram analisados todos os artigos de córregos e riachos listados na Tabela 3. Foi notado que todos os artigos citados são provenientes da base de dados OasisBR e publicados nacionalmente, revelando que esses estudos estão sendo publicados apenas no Brasil. Além disso, apenas três dos periódicos apresentam um corpo hídrico dentro ou com parte de seu percurso na zona urbana do município, indicando a necessidade de mais pesquisas nesse contexto específico, visto a importância desse sistema de drenagem.

Tabela 4. Artigos que abordam riachos e córregos no Brasil

Item	Título	Referência
1	*Caracterização Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Córrego Santa Flora, Município de Dracena (SP)*	(Nardini, 2016)
2	*Análise da caracterização morfométrica da microbacia do Ribeirão dos Patos, Bofete (SP)*	(Nardini, 2015)
3	*Análise morfométrica da Microbacia do riacho Riachão, no Parque Nacional de Sete Cidades, Nordeste do Brasil*	(Mendes, 2016)
4	*Geoprocessamento de variáveis morfométricas para caracterização da microbacia do Córrego do Petiço*	(Tagliarini et al., 2015)
5	*Propriedades morfométricas da bacia hidrográfica do Córrego Marumbizinho, Jandaia do Sul/PR*	(Oliveira et al., 2011)
6	*Análise integrada morfométrica e de ocupação em pequenas Bacias Hidrográficas: Estudo de caso do Córrego Santa Maria, Conceição de Ipanema-MG*	(Reis et al., 2020)
7	*Análise Morfométrica da Bacia do Arroio do Padre, Ponta Grossa-PR*	(Barbosa et al., 2009)
8	*Aspectos morfométricos da bacia do córrego Tamanduá em Iporá-GO*	(Santos et al., 2013)
9	*Análises da Transformação Antrópica e Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Córrego Piraputanga, Mato Grosso, Brasil*	(Rodrigues et al., 2021)
10	*Caracterização morfométrica da sub-bacia do rio Poxim-Açu, Sergipe, Brasil*	(Rocha et al., 2014)

Dos artigos descritos na Tabela 4 apenas um artigo trata-se de estudos desenvolvidos em riacho no Semiárido, sendo ele o artigo "Análise morfométrica da Microbacia do riacho Riachão, no Parque Nacional de Sete Cidades, Nordeste do Brasil" (item 3) que descreve o riacho Riachão, tendo como objetivo realizar a análise dos parâmetros morfométricos da Microbacia do riacho Riachão (MRR), no interior do Parque Nacional de Sete Cidades, localizado no estado do Piauí. O item 10 se aproxima da região do semiárido brasileiro, no entanto segundo Correia et al. (2011) a região do semiárido se encaixa na região oeste do estado de Sergipe, já o riacho Timbó, descrito no artigo "Caracterização morfométrica da sub-bacia do rio Poxim-Açu, Sergipe, Brasil" fica a leste no estado, portanto fora da região semiárida.

Na metodologia utilizada nesses periódicos, foi empregado majoritariamente o Sistema de Informações Geográficas (SIG), já comentado anteriormente, conhecido internacionalmente pela sigla GIS (Geographic Information System), para a realização da caracterização morfométrica de bacias hidrográficas. Esse procedimento é realizado com a integração de informações de relevo em ambiente digital e pode ser conduzido de modo manual ou automático (Cardoso et al., 2006).

Estes resultados, portanto, destacam a importância de pesquisas que descrevam esses corpos hídricos, que estão frequentemente localizados em áreas urbanas e, portanto, necessitam de atenção especial. A ausência de estudos focados em riachos nessas bases de influência mundial sugere a necessidade de futuras pesquisas que busquem descrever esses corpos e analisar suas características.

4. CONCLUSÃO

O estudo foi capaz de estabelecer o cenário do desenvolvimento científico de estudos que abordam a caracterização morfométrica de riachos urbanos e evidenciou reduzido número de artigos relacionados à temática. Em se tratando de riachos na região semiárida brasileira, o cenário foi ainda mais crítico, encontrando-se apenas um artigo na temática. Assim, o cenário evidenciou que há uma lacuna nesta área de estudo com potencial de pesquisas futuras.

Na maioria dos trabalhos foi utilizada a metodologia do Sistema de Informações Geográficas (SIG) através da integração de dados. Apesar de haver uma metodologia definida, ainda há espaço para o desenvolvimento de pesquisas para o mercado urbano.

REFERÊNCIAS

[1] ABDETA, G. C., TESEMMA, A. B., TURA, A. L. Análise morfométrica para priorizar sub-bacias hidrográficas e planejamento e práticas de gestão na Bacia de Gidabo, Vale do Rift Meridional da Etiópia. **Appl Water Sci** v. 10, p. 158, 2020. https://doi.org/10.1007/s13201-020-01239-7

[2] BRASIL, Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento. Diagnóstico temático de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas. Brasília: SNIS, dez. 2021.

[3] BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Novo Marco Legal do Saneamento Básico. Brasil, 2020. Disponível em: http://www.planalto. gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/L14026.htm. Acesso em: 20 ago. 2020.

[4] BARBOSA, Y. B.; CARVALHO, S. M. Análise Morfométrica Da Bacia Do Arroio Do Padre, Ponta Grossa-PR. **Caminhos de Geografia,** v. 10, n. 30, p. 160 - 173. 2009.

[5] CARDOSO, C. A.; DIAS, H. C. T.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V. Caracterização morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, v.30, n.2, p.241-248, 2006. DOI:

https://doi.org/10.1590/S0100-67622006000200011

[6] CARVALHO-SEGUNDO, W.; MATAS, L.; CABEZAS, A.; AMARO, B.; GOMES, G. The LA Referencia Software and the Brazilian Portal of Scientific Open Access Publications (oasisbr). In: International conference on open repositories, 12., 2017, Brisbane. Anais [...]. Brisbane, OR: Ibict, 2017, p.1-4. Disponível em: https://repositorio.ibict.br/handle/123456789/931?mode=full. Acesso em: 01 abr. 2024.

[7] CHAGAS, A. M. S. das, MONTENEGRO, A. A. de, FARIAS, C. W. L. de A., LINS, F. A. C., & SILVA, J. R. I. Use of geotechnologies for morphometric analysis of experimental basin in the semiarid region to support hydrological simulation. **Revista Engenharia Na Agricultura**, v. 30, n. Contínua, p. 19-35, 2022. DOI: https://doi.org/10.13083/reveng.v30i1.12629

[8] CORREIA, R. C.; KIILL, L. H. P.; MOURA, M. S. B. de; CUNHA, T. J. F.; JESUS JUNIOR, L. A. de; ARAUJO, J. L. P. A região semiárida brasileira. In: EMBRAPA SEMIÁRIDO. A região semiárida brasileira. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2011. Parte de livro. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/916891/a-regiao-semiarida-brasileira. Acesso em: 03 jun. 2024.

[9] GAO, S.; SUN, H.; ZHAO, L.; WANG, R.; XU, M.; CAO, G. Dynamic assessment of island ecological environment sustainability under urbanization based on rough set, synthetic index and catastrophe progression analysis theories. **Ocean & Coastal Management**, v.178, p.782-790, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.04.017

[10] GOMES, R. C. Análise geoambiental da degradação do sistema e subsistemas da microbacia hidrográfica do Riacho Carrapateiras-Tauá/CE. 2015. 295 f. Dissertação (mestrado em desenvolvimento e meio ambiente) - **Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE**, 2015.

[11] JACSO, P. As we may search – Comparison of major features of the Web of Science, Scopus and Google Scholar citation-based and citation-enhanced databases. **Current Science**, v. 89, n. 9, p. 1537-1547, 2005.

[12] LIU, W.; WANG, J.; LI, C.; CHEN, B.; SUN, Y. Using bibliometric analysis to understand the recent progress in agroecosystem services research. **Ecological Economics**, v. 156, p. 293-305, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.09.001.

[13] NARDINI, R. C. Análise da caracterização morfométrica da microbacia do Ribeirão dos Patos, Bofete (SP). **Geografia** (Londrina), v. 24, n. 2, p. 25-39, 2015.

[14] NARDINI, R. C. Caracterização Morfométrica do Córrego Santa Flora, Município de Dracena (SP). **Geografia** (Londrina), v. 25, n. 1, p. 05-22, 2016.

[15] NIGRO, M. Dos riachos aos canais: o desprezo pela natureza na cidade em ambiente semiárido no Brasil (Juazeiro-BA). 298f. Tese (Doutorado em Geografia). **Universidade Federal da Bahia**, Salvador, 2017.

[16] MENDES, J. de M.. Análise morfométrica da Microbacia do riacho Riachão, no Parque Nacional de Sete Cidades, Nordeste do Brasil. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 2, p. 480-490, 2016.

[17] OLIVEIRA, E. D.; BORSATO, V. A. Propriedades morfométricas da bacia hidrográfica do Córrego Marumbizinho, Jandaia do Sul/PR. **Revista Geografar**, Curitiba, v. 6, n. 1, p. 76-94, 2011.

[18] REIS, B. C.; DIAS, D. A. F. .; VIEIRA, E. M. Analysis integrated morphometric and occupation in small drainage basin: Case study of the Santa Maria stream, Conceição de Ipanema-MG. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 10, p. e3359108464, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i10.8464.

[19] ROCHA, R. M., LUCAS, A. A. T., ALMEIDA, C. A. P. de ., Menezes Neto, E. L., & NETTO, A. de O. A.. Caracterização morfométrica da sub-bacia do rio Poxim-Açu, Sergipe, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v. 9, n. 2, p. 276–287, abr. 2014. DOI: https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1289

[20] RODRIGUES, L. da C., NEVES, S. M. A. da S., DA SILVA, M. B., de Paiva, S. L. P., & KREITLOW, J. P. Análisis de la Transformación Antrópica y Morfométrica de la Cuenca Hidrográfica del Arroyo Piraputanga, Mato Grosso, Brasil. **Geo UERJ**, n. 39. 2021. DOI: https://doi.org/10.12957/geouerj.2021.57306

[21] SANTOS, E. F. dos; SOUSA, F. A. de. Aspectos morfométricos da bacia do córrego Tamanduá em Iporá-GO (Morphometric aspects basian of Córrego Tamanduá in Iporá-GO). **Acta Geográfica**, v. 7, n. 15, p. 191-199, 2013.

[22] SANTOS, R. L.; BRITO, D. S. de; BARBOSA, R. S. Estudo morfométrico da Bacia do Riacho Açaizal –

MA/Brasil. **Revista Percurso**, Maringá, v. 6, n. 1, p. 105-126, 2014

[23] SEVERO, E. A.; DORION, E. C. H.; GUIMARÃES,J. F. C.; SOUZA, I. R. A.; SEVERO, P. A. Trajetórias da inovação: uma análise na base de dados Scopus. **Revista Espacios.** v. 37, n. 11. 2016

[24] SILVA, G. C.; ALMEIDA, F; ALMEIDA, R.; MESQUITA, M.; JUNIOR, J. A. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Riacho Rangel-Piauí, Brasil. **Enciclopédia Biosfera**, v. 15, n. 28, 2018.

[25] TAGLIARINI, F. de S. N.; RODRIGUES, M. T.; CAMPOS, S. Geoprocessamento de variáveis morfométricas para caracterização da microbacia do Córrego do Petiço. **Geotecnologia aplicada no planejamento ambiental de bacias hidrográficas**, p. 45-58, 2015.

[26] TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; SOUZA, A. L.; RIBEIRO, C. A. S.; LEITE, F. P. Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães - MG. **Revista Árvore**, v. 30, p.849-857, 2006.

[27] WU, F.; GENG, Y.; TIAN, X.; ZHONG, S.; WU, W.; YU, S.; XIAO, S. Responding climate change: a bibliometric review on urban environmental governance. **Journal of Cleaner Production**, v. 204, p.344-354, 2018.

[28] ZHOU, Q. A Review of Sustainable Urban Drainage Systems Considering the Climate Change and Urbanization Impacts. **Water**, v. 6, n. 4, p. 976-992, 22 abr. 2014. MDPI AG. http://dx.doi.org/10.3390/w6040976

Capítulo 8

Utilização do Teste t Pareado para 2 amostras para comparar um determinado tipo de tratamento no pH em 10 pontos de um rio

Nickolas Maia Faria
Andressa Donadio Delbons
Hugo Pimentel Tavares
Maria da Glória Diniz de Almeida
Nilo Antonio de Souza Sampaio

Resumo: Este estudo teve como objetivo identificar lacunas na pesquisa sobre o tema "Testes Estatísticos Paramétricos", apresentando, especificamente, uma aplicação do Teste t Pareado. Para atingir esse objetivo, o teste foi aplicado a dados de um rio na região sul do estado do Rio de Janeiro. Vale ressaltar que os dados são inteiramente empíricos, obtidos por amostragem no local.

Palavras-chave: Software Estatístico, Testes Estatísticos Paramétricos, Teste t Pareado.

1. INTRODUÇÃO

Durante o século passado, a estatística revolucionou a ciência ao apresentar modelos úteis que modernizaram o processo de pesquisa na direção de melhores parâmetros de pesquisa, possibilitando orientar a tomada de decisões em uma ampla variedade de áreas. Os métodos estatísticos foram desenvolvidos como uma mistura de ciência e lógica para a solução e investigação de problemas em várias áreas do conhecimento humano (Cardoso et al., 2023; Rezende et al., 2023).

Atualmente, a estatística tem contribuído significativamente para o processo de tomada de decisões porque grande parte do que é produzido se baseia em métodos quantitativos, e a estatística é uma dessas áreas. Na era da informação e do conhecimento, a estatística usa a matemática para apoiar profissionais de empresas, governos e pesquisadores (Fonseca, D;Correa, M.P.O;Santos, R.R;Cardoso, R.P;Reis, J.S.M;Sampaio, 2023).

O teste t de Pareado é um teste estatístico usado para comparar as médias de duas populações com a mesma quantidade de amostras. Ele determina se a diferença observada entre as médias das amostras é estatisticamente significativa, indicando uma diferença real entre as médias populacionais, ou se a diferença pode ser explicada pelo acaso(André Vilela Komatsu, 2017).

O objetivo deste artigo é mostrar a aplicação do Teste t Pareado para dez amostras em um ponto do rio Paraíba do Sul antes e depois de um tratamento realizado para se aumentar o pH conseguindo-se assim reduzir a acidez do rio. Inicialmente, o artigo abordará os conceitos de Pressupostos Estatísticos e Teste t. Em seguida, serão apresentados os resultados e as discussões dos objetivos propostos, e será apresentada uma aplicação ambiental. Por fim, será apresentada as Conclusões.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O lançamento de um novo produto e/ou processo geralmente envolve o trabalho com um grande número de variáveis. O planejamento consciente dos experimentos que devem ser usados para manipular essas variáveis e chegar às respostas desejadas é indispensável para a obtenção de resultados confiáveis e para a realização de análises estatísticas consistentes. Nesse contexto, não é mais possível desenvolver produtos e processos empiricamente, como era feito no passado. A concorrência acirrada, a difusão de processos tecnológicos e a responsabilidade da comunidade científica agora tornam esses procedimentos impossíveis. A otimização de processos e produtos exige mais do que nunca um estudo estatístico robusto (Costa, 2011; Lescura et al., 2023; Reis et al., 2023; Sales et al., 2021; Yamada et al., 2023).

O teste t pareado é um teste estatístico usado para comparar as médias de duas amostras relacionadas (pares). O valor p resultante indica a probabilidade de obter os resultados observados (ou resultados mais extremos) se a hipótese nula (de que não há diferença entre as médias) for verdadeira. Um valor p pequeno (tipicamente menor que 0,05) sugere evidências contra a hipótese nula, indicando uma diferença significativa entre as médias dos pares. Ele determina se a diferença observada entre as médias das amostras é estatisticamente significativa, indicando uma diferença real entre as médias populacionais, ou se a diferença pode ser explicada pelo acaso. O teste é usado quando os dados de dois grupos estão relacionadas ou pareadas com as observações no outro grupo. Existe uma Hipótese Nula (nenhuma diferença entre as médias) e a Hipótese Alternativa (existe uma diferença) (André Vilela Komatsu, 2017).

O teste de Anderson-Darling é um teste estatístico usado para verificar se um conjunto de dados segue uma distribuição específica, como a Distribuição Normal. Ele avalia quão bem os dados se ajustam à distribuição desejada, calculando uma estatística de teste e um valor p. Um valor p baixo indica que os dados não se ajustam bem à distribuição, enquanto um valor p alto sugere um bom ajuste. O teste de Anderson-Darling é uma alternativa ao teste de Kolmogorov-Smirnov, sendo mais sensível a desvios nas caudas da distribuição, o que o torna melhor para identificar valores discrepantes. Ele é comumente usado para verificar a normalidade dos dados antes de aplicar outros testes estatísticos que assumem a normalidade, como o teste t. Existe uma Hipótese nula (H0) em que os dados seguem a Distribuição Normal, e existe uma Hipótese Alternativa (H1) em que os dados não seguem a distribuição especificada (Scholz & Stephens, 2012).

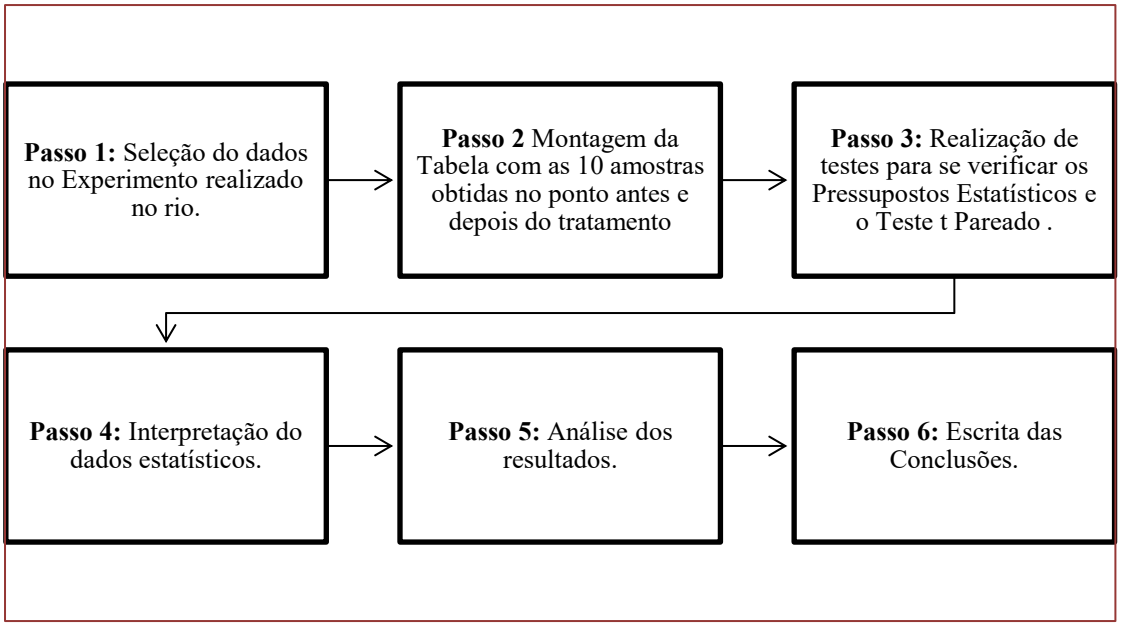
O teste de Homocedasticidade, ou teste de homogeneidade de variâncias, é um procedimento estatístico usado para verificar se a variância de um conjunto de dados é constante em diferentes níveis de uma variável independente. Em termos mais simples, ele verifica se a dispersão dos dados é a mesma em todos os grupos ou níveis que estão sendo comparados. Esta propriedade é importante em muitos modelos estatísticos, especialmente na regressão linear, onde a homocedasticidade é uma suposição crucial para a validade dos resultados. Existem diversos tipos de Testes como Teste de Breusch-Pagan, Teste de White e o Teste de Bartlett. Se o valor-p do teste for menor que um nível de significância pré-definido (geralmente 0,05), rejeita-se a hipótese de homocedasticidade, indicando Heterocedasticidade (variância não constante) (Neto et al., 2003).

3. MÉTODO DE PESQUISA

Este artigo pode ser classificado como uma pesquisa aplicada, pois visa a fornecer melhorias na literatura atual, com objetivos empíricos normativos, visando ao desenvolvimento de políticas e estratégias que melhorarão a condição atual. (Rezende et al., 2023; Sampaio et al., 2022). A abordagem do problema é quantitativa, como o método de pesquisa de modelagem e simulação. As etapas da pesquisa foram realizadas de acordo com a sequência mostrada na Figura1.

- Etapa 1: Os dados experimentais foram selecionados de um experimento realizado no Rio Paraíba do Sul em um ponto específico.
- Etapa 2: Montagem da Tabela com as 10 amostras obtidas no ponto antes e depois do tratamento
- Etapa 3: Realização de testes para se verificar os Pressupostos Estatísticos e o Teste t Pareado usando o software Minitab 19.
- Etapa 4: foi realizada a interpretação dos resultados.
- Etapa 5: A análise do problema foi analisada e as possíveis tomadas de decisão foram baseadas nos resultados obtidos.
- Etapa 6: As conclusões apresentadas no final deste artigo foram tiradas com base nos resultados obtidos nas etapas anteriores.

Figura 1. Passos do método de pesquisa



Fonte: Autores (2025).

3.1. ESTUDO DE CASO

Dez amostras foram retiradas em um determinado ponto do rio estudado antes de depois do tratamento de redução da acidez e aumento do pH estão presentes na Tabela 1, sendo feitas de forma pareada. O tratamento foi feito misturando-se Carbonato de Sódio que é um produto químico comum para elevar o pH da água, pois reage com os íons hidrogênio, tornando a água menos ácida. Prevenção de corrosão e incrustação. Um pH inadequado pode causar corrosão ou incrustação nas tubulações e equipamentos que utilizam essa água e ainda pode ser prejudicial para a vida aquática, afetando peixes, plantas e outros organismos. Após a aplicação dos produtos, é importante monitorar o pH para garantir que ele permaneça dentro da faixa desejada.

Tabela 1. Valores do pH antes e depois do tratamento para se aumentar o pH com 10 amostras de água do rio

Amostra	pH Antes	pH Depois
1	6,5	7,1
2	6,7	7
3	6,6	6,9
4	6,4	6,8
5	6,8	7,2
6	6,5	6,9
7	6,3	6,7
8	6,6	7
9	6,7	7,1
10	6,4	6,9

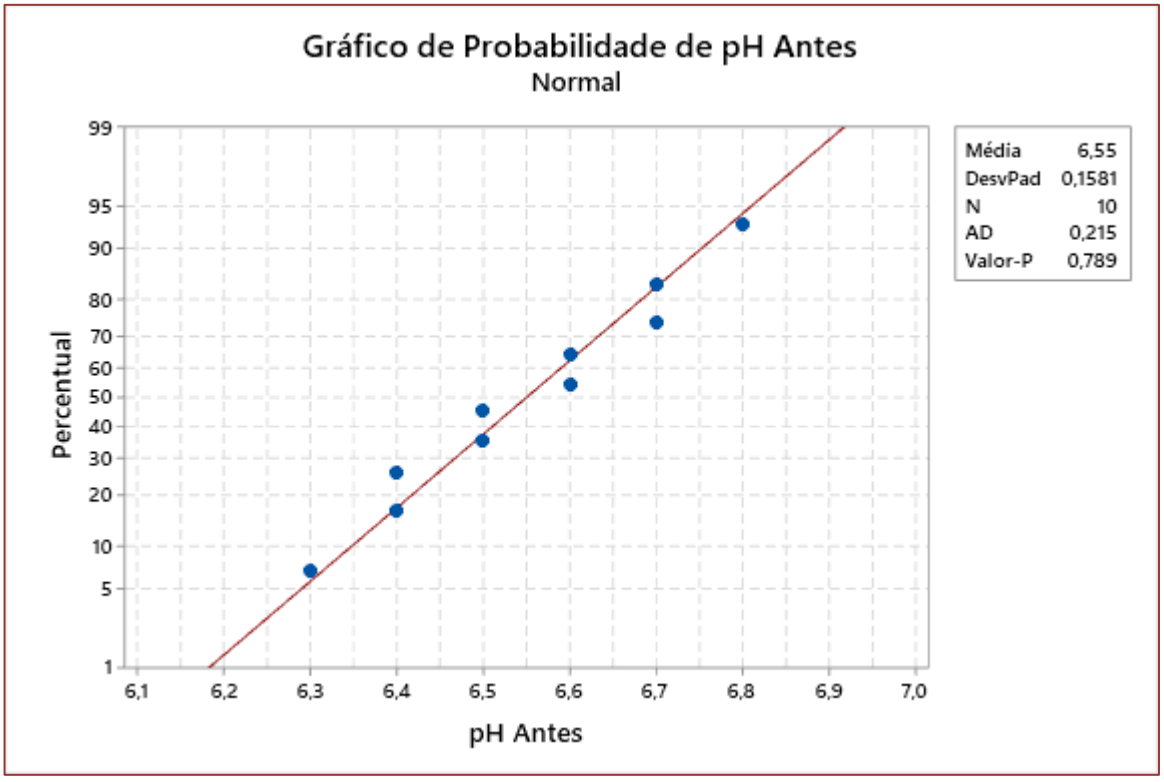
Fonte: Autores (2025).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. ESTUDO DE CASO

Realizou-se inicialmente o Teste de Anderson Darling nas duas amostras para se verificar se os dados seguem uma Distribuição Normal, como pode ser visto nas Figuras 2 e 3. Verificou-se que os dados possuem Distribuição Normal porque q p-Value é maior que 0,05 (5%) para os 2 casos portanto aceita-se a Ho que os dados seguem uma Distribuição Normal. O teste de Anderson-Darling é um teste estatístico usado para verificar se um conjunto de dados segue uma distribuição específica, como a distribuição normal. Ele avalia quão bem os dados se ajustam à distribuição desejada, calculando uma estatística de teste e um valor p. Um valor p baixo indica que os dados não se ajustam bem à distribuição, enquanto um valor p alto sugere um bom ajuste (Scholz & Stephens, 2012).

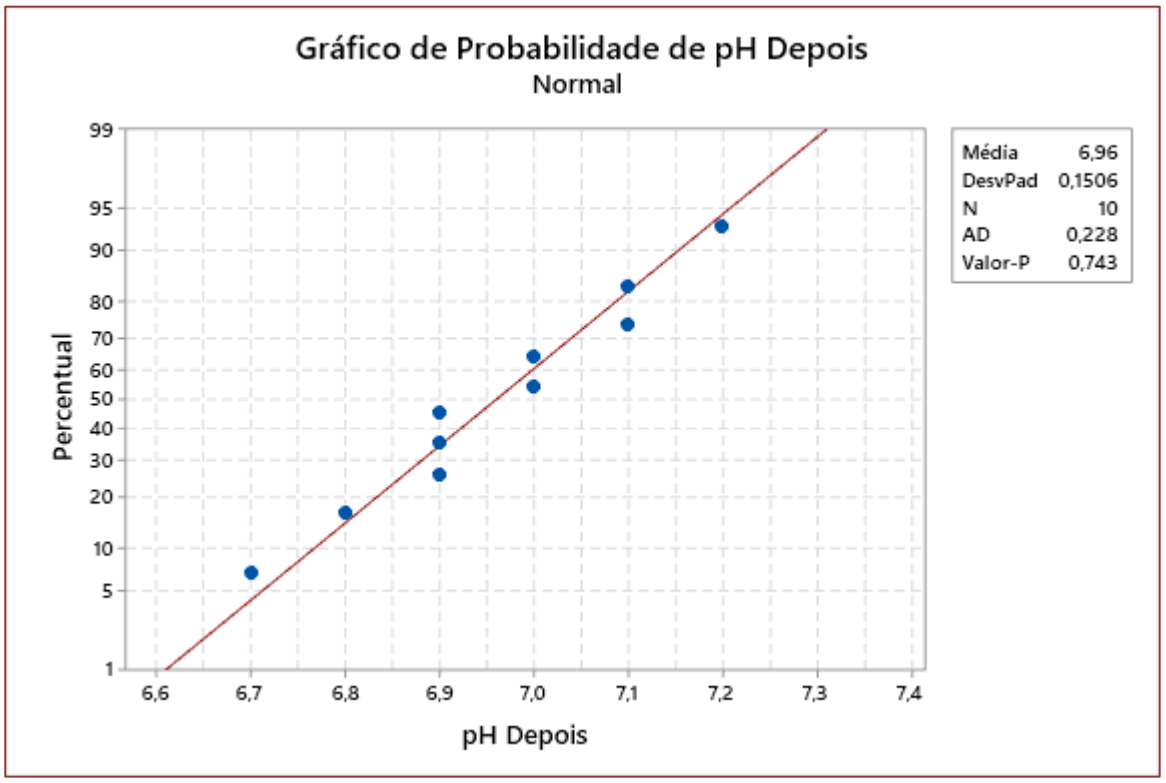
Figura 2. Teste de Anderson Darling antes do Tratamento



Fonte: Autores (2025).

Na Figura-2 o valor do p-value foi 0,789 (78,9%) e na Figura-3 foi 0,743 (74,3%) ambos acima de 0,05 (5%).

Figura 3. Teste de Anderson Darling depois do tratamento



Fonte: Autores (2025).

Realizou-se na sequencia o teste para se verificar a Homoscedasticidade, para se verificar se a variância de uma variável aleatória é constante em todos os níveis de outra variável. Como o Teste da Homoscedacidade mostrou que como p-Value é maior que 0,05 (5%) as Variâncias são iguais, não Rejeita Ho.

Tabela 1. Testes de Homoscedacidade

Hipótese nula		$H_0: \sigma_1 / \sigma_2 = 1$		
Hipótese alternativa		$H_1: \sigma_1 / \sigma_2 \neq 1$		
Nível de significância		$\alpha = 0,05$		
Método	**Estatística de teste**	**GL1**	**GL2**	**Valor-p**
Bonett	0,03	1		0,861
Levene	0,08	1	18	0,785

Fonte: Autores (2025).

Uma vez que os pressupostos estatísticos de Normalidade e Homoscedasticidade não foram violados partiu-se para a análise dos dados. Realizou-se então o Teste t Pareado para 2 Amostras, esse teste compara as médias de duas populações independentes. Ele determina se a diferença observada entre as médias das amostras é estatisticamente

significativa, indicando uma diferença real entre as médias populacionais, ou se a diferença pode ser explicada pelo acaso. O Teste pode ser observado na Tabela 2.

Tabela 2. Teste t para 2 Amostras

Hipótese nula	H_0: diferença_μ = 0
Hipótese alternativa	H_1: diferença_μ ≠ 0
Valor-T	**Valor-p**
-14,81	0,000

Fonte: Autores (2025).

Como o valor do p-value obtido foi de 0,0 (0%) logo Rejeitou-se Ho os Tratamentos tem uma diferença significativa.

Tabela 3. Estatísticas Descritivas

Amostra	N	Média	DesvPad	EP Média
pH Antes	10	6,5500	0,1581	0,0500
pH Depois	10	6,9600	0,1506	0,0476

Fonte: Autores (2025).

Outra observação importante vista na Tabela-3 é que o pH depois do tratamento é maior que o pH antes do tratamento pois sua Média é maior logo o tratamento foi eficiente.

5. CONCLUSÔES

Este estudo teve como objetivo mostrar a importância do Teste t Pareado para duas em análises ambientais. Os resultados comprovaram que existiu eficiência no tratamento do pH em 10 amostras do rio estudados e ainda que os valores do pH depois do tratamento tem Média maior mostrando a eficiência do tratamento que reduz a acidez do rio.

REFERÊNCIAS

[1] André Vilela Komatsu. (2017). *Comparação dos poderes dos Testes T de Student e Man Whitney Wilcoxon Pelo Método de Monte Carlo*. *VI*, 121–127.

[2] Cardoso, R. P., Reis, J. S. D. M., Silva, D. E. W., Almeida, M. da gloria diniz de, Barros, J. G. M. de, & Sampaio, N. A. de S. (2023). Scientific Research Trends About Metaheuristics in Process Optimization and Case Study Using the Desirability Function. *Revista de Gestão e Secretariado*, *14*(3), 3348–3367. https://doi.org/http://doi.org/10.7769/gesec.v14i3.1809

[3] Costa, M. C. B. (2011). a Importância Do Ensino Da Ferramenta De Planejamento Fatorial Para Estudantes De Engenharia. *Cobenge*, 1–7.

[4] Fonseca, D;Correa, M.P.O;Santos, R.R;Cardoso, R.P;Reis, J.S.M;Sampaio, N. A. . (2023). Effect of pollution on physical and chemical water data : a multivariate statistical analysis Efeito da poluição nos dados físicos e químicos da água : uma análise estatística multivariada. *Revista de Engenharia Térmica*, *14*(5), 7353–7366. https://doi.org/10.7769/gesec.v14i5.2125

[5] Lescura, M. M., Alves, J. C., & Sampaio, N. A. de S. (2023). Linear low density polyethylene film process capability analysis Análise de capacidade de processo de filme de polietileno linear de baixa densidade. *Revista de Gestão*, *14*(5), 8103–8110. https://doi.org/10.7769/gesec.v14i5.2183

[6] Neto, F. C., Cristina, A., & Soares, N. (2003). *Inferência em Modelos Heteroced ´. 57*(2), 319–335.

[7] Reis, J. S. da M., Neto, R. S. P., Espuny, A. L. G., Barros, J. G. M. de, Sampaio, N. A. de S., & Barbosa, L. C. F. M. (2023). New Indicators for Commercial Technical Support Development. *Revista de Gestão e Secretariado*, *14*(5), 8272–8285. https://doi.org/0.7769/gesec.v14i5.2210

[8] Rezende, M. D., Rosa, C. S. da, Cardoso, R. P., Reis, J. S. da M., & Sampaio, N. A. de S. (2023). Statistics as a Tool for Decision Making in Agricultural and Environmental Experiments. *Revista de Gestão e Secretariado*, *14*(4), 5204–5217. https://doi.org/10.7769/gesec.v14i4.1978

[9] Sales, J. P. de, Reis, J. S. da M., De, J. G. M., Barros, da Fonseca, B. B., Araujo, A. H. de, Junior, Almeida, M. da G. de, Motta, L. C. F., Barbosa, Santos, G., & Sampaio, N. A. de S. (2021). Quality management in the contours of continuous product improvement. *International Journal for Quality Research*, *16*(3), 689–702. https://doi.org/10.24874/ijqr16.03-02

[10] Sampaio, N. A. de S., Reis, J. S. da M., Espuny, M., Cardoso, R. P., Gomes, F. M., Pereira, F. M., Ferreira, L. C., Barbosa, M., Santos, G., & Silva, M. B. (2022). Contributions to the future of metaheuristics in the contours of scientific development. *Gestão & Produção*, *29*(1), 1–19. https://doi.org/10.1590/1806-9649-2022v29e099

[11] Scholz, F. W., & Stephens, M. A. (2012). K-Sample Anderson–Darling Tests. *Journal of the American Statistical Association*, *82*(399).

[12] Yamada, J. T., Viana, R. S. E., Santos, R. R., Carvalho, C. P. de, Almeida, M. da G. D. de, Barros, J. G. M. de, & Sampaio, N. A. de S. (2023). Use of factorial design with significant interaction and Tukey ' s Test in agricultural and environmental experiments Uso de planejamento fatorial com interação significativa e teste de Tukey em experimentos agrícolas e ambientais. *Revista de Gestão e Secretariado*, *14*(6), 9815–9828. https://doi.org/10.7769/gesec.v14i6.2335

Capítulo 9

Utilização do Teste t para 2 amostras para comparar um determinado tipo de tratamento de despoluição

Luan Silva Gomes da Costa
Celso Marlei dos Santos
Hugo Pimentel Tavares
Maria da Glória Diniz de Almeida
Nilo Antonio de Souza Sampaio

Resumo: Este estudo teve como objetivo identificar lacunas na pesquisa sobre o tema "Testes Estatísticos Não Paramétricos", apresentando, especificamente, uma aplicação do Teste de Mann-Whitney. Para atingir esse objetico, foi realizada uma aplicação desse teste em dados de uma indústria química da região Sul Fluminense. Ressalta-se que a confidencialidade dos dados foi priorizada, em prol dos interesses da empresa.

Palavras-chave: Software Estatístico, Testes Estatísticos Não Paramétricos, Teste de Mann-Whitney.

1. INTRODUÇÃO

Durante o século passado, a estatística revolucionou a ciência ao apresentar modelos úteis que modernizaram o processo de pesquisa na direção de melhores parâmetros de pesquisa, possibilitando orientar a tomada de decisões em uma ampla variedade de áreas. Os métodos estatísticos foram desenvolvidos como uma mistura de ciência e lógica para a solução e investigação de problemas em várias áreas do conhecimento humano (Cardoso et al., 2023; Rezende et al., 2023).

Atualmente, a estatística tem contribuído significativamente para o processo de tomada de decisões porque grande parte do que é produzido se baseia em métodos quantitativos, e a estatística é uma dessas áreas. Na era da informação e do conhecimento, a estatística usa a matemática para apoiar profissionais de empresas, governos e pesquisadores (Fonseca, D;Correa, M.P.O;Santos, R.R;Cardoso, R.P;Reis, J.S.M;Sampaio, 2023).

O teste t de duas amostras (ou teste t para amostras independentes) é um teste estatístico usado para comparar as médias de duas populações independentes. Ele determina se a diferença observada entre as médias das amostras é estatisticamente significativa, indicando uma diferença real entre as médias populacionais, ou se a diferença pode ser explicada pelo acaso(André Vilela Komatsu, 2017).

O objetivo deste artigo é mostrar a aplicação do Teste t para duas amostras independentes em uma aplicação ambiental. Inicialmente, o artigo abordará os conceitos de Pressupostos Estatísticos e Teste t. Em seguida, serão apresentados os resultados e as discussões dos objetivos propostos, e será apresentada uma aplicação ambiental. Por fim, será apresentada as Conclusões.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O lançamento de um novo produto e/ou processo geralmente envolve o trabalho com um grande número de variáveis. O planejamento consciente dos experimentos que devem ser usados para manipular essas variáveis e chegar às respostas desejadas é indispensável para a obtenção de resultados confiáveis e para a realização de análises estatísticas consistentes. Nesse contexto, não é mais possível desenvolver produtos e processos empiricamente, como era feito no passado. A concorrência acirrada, a difusão de processos tecnológicos e a responsabilidade da comunidade científica agora tornam esses procedimentos impossíveis. A otimização de processos e produtos exige mais do que nunca um estudo estatístico robusto (Costa, 2011; Lescura et al., 2023; Reis et al., 2023; Sales et al., 2021; Yamada et al., 2023).

O teste t de duas amostras (ou teste t para amostras independentes) é um teste estatístico usado para comparar as médias de duas populações independentes. Ele determina se a diferença observada entre as médias das amostras é estatisticamente significativa, indicando uma diferença real entre as médias populacionais, ou se a diferença pode ser explicada pelo acaso. O teste é usado quando os dados são de dois grupos independentes, ou seja, as observações em um grupo não estão relacionadas ou pareadas com as observações no outro grupo. Existe uma Hipótese Nula (nenhuma diferença entre as médias) e a Hipótese Alternativa (existe uma diferença) (André Vilela Komatsu, 2017).

O teste de Anderson-Darling é um teste estatístico usado para verificar se um conjunto de dados segue uma distribuição específica, como a Distribuição Normal. Ele avalia quão bem os dados se ajustam à distribuição desejada, calculando uma estatística de teste e um valor

p. Um valor p baixo indica que os dados não se ajustam bem à distribuição, enquanto um valor p alto sugere um bom ajuste. O teste de Anderson-Darling é uma alternativa ao teste de Kolmogorov-Smirnov, sendo mais sensível a desvios nas caudas da distribuição, o que o torna melhor para identificar valores discrepantes. Ele é comumente usado para verificar a normalidade dos dados antes de aplicar outros testes estatísticos que assumem a normalidade, como o teste t. Existe uma Hipótese nula (H0) em que os dados seguem a Distribuição Normal, e existe uma Hipótese Alternativa (H1) em que os dados não seguem a distribuição especificada (Scholz & Stephens, 2012).

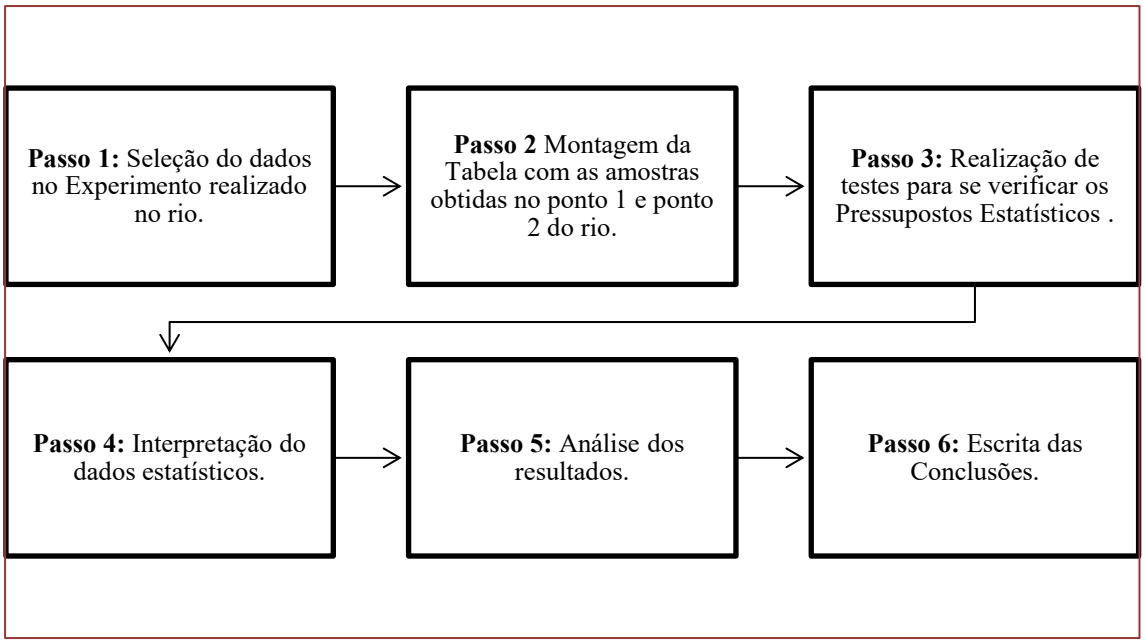
O teste de Homocedasticidade, ou teste de homogeneidade de variâncias, é um procedimento estatístico usado para verificar se a variância de um conjunto de dados é constante em diferentes níveis de uma variável independente. Em termos mais simples, ele verifica se a dispersão dos dados é a mesma em todos os grupos ou níveis que estão sendo comparados. Esta propriedade é importante em muitos modelos estatísticos, especialmente na regressão linear, onde a homocedasticidade é uma suposição crucial para a validade dos resultados. Existem diversos tipos de Testes como Teste de Breusch-Pagan, Teste de White e o Teste de Bartlett. Se o valor-p do teste for menor que um nível de significância pré-definido (geralmente 0,05), rejeita-se a hipótese de homocedasticidade, indicando Heterocedasticidade (variância não constante) (Neto et al., 2003).

3. MÉTODO DE PESQUISA

Este artigo pode ser classificado como uma pesquisa aplicada, pois visa a fornecer melhorias na literatura atual, com objetivos empíricos normativos, visando ao desenvolvimento de políticas e estratégias que melhorarão a condição atual. (Rezende et al., 2023; Sampaio et al., 2022). A abordagem do problema é quantitativa, como o método de pesquisa de modelagem e simulação. As etapas da pesquisa foram realizadas de acordo com a sequência mostrada na Figura1.

- Etapa 1: Os dados experimentais foram selecionados de um experimento realizado no Rio Paraíba do Sul em dois pontos específicos.
- Etapa 2: Montagem da Tabela com as amostras obtidas no ponto 1 e ponto 2 do rio.
- Etapa 3: Realização de testes para se verificar os Pressupostos Estatísticos usando o software Minitab 19.
- Etapa 4: foi realizada a interpretação dos resultados.
- Etapa 5: a situação do problema foi analisada e as possíveis tomadas de decisão foram baseadas nos resultados obtidos.
- Etapa 6: As conclusões apresentadas no final deste artigo foram tiradas com base nos resultados obtidos nas etapas anteriores.

Figura 1. Passos do método de pesquisa



Fonte: Autores (2025).

3.1. ESTUDO DE CASO

As diferenças entre a DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) nos pontos 1 e 2 do rio estudado antes de depois do tratamento de despoluição estão presentes na Tabela 1, por questões técnicas não foi possível pegar a mesma quantidade de amostras nos dois pontos. No ponto 1 pegou-se 10 amostras e no ponto 2 pegou-se 7 amostras. O tratamento foi feito usando-se aumentando-se a concentração de oxigênio dissolvido e acelerarando-se a decomposição da matéria orgânica nos 2 pontos estudados. Usou-se aeradores artificiais para colocar ar e junto oxigênio dissolvido nos pontos específicos.

Tabela 1. Amostras de água em 2 pontos estudados

Tratamento mg/L 1	Tratamento mg/L 2
13	15
12	19
8	15
15	12
13	13
10	16
12	15
14	
11	
12	

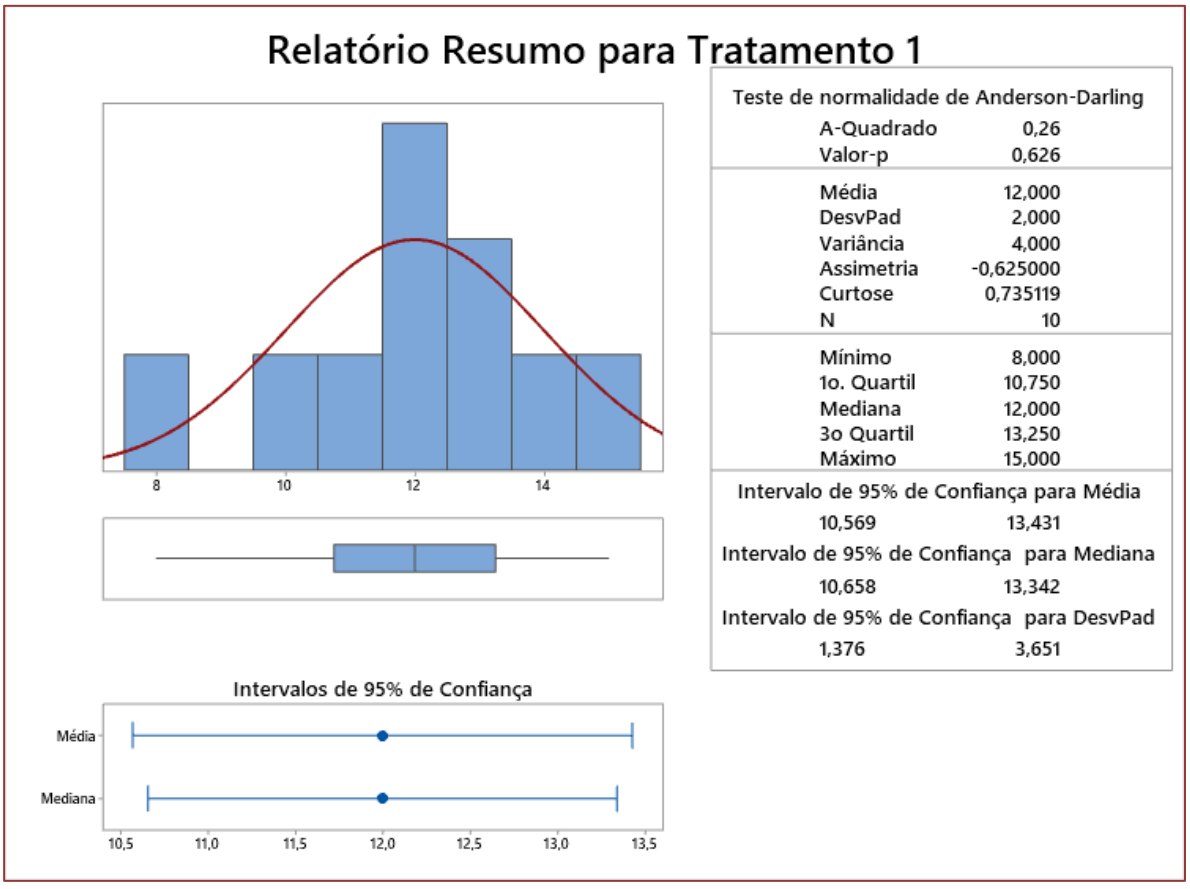
Fonte: Autores (2025).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. ESTUDO DE CASO

Realizou-se inicialmente o Teste de Anderson Darling nas duas amostras para se verificar se os dados seguem uma Distribuição Normal, como pode ser visto nas Figuras 2 e 3. Verificou-se que os dados possuem Distribuição Normal porque q p-Value é maior que 0,05 (5%) para os 2 casos portanto aceita-se a Ho que os dados seguem uma Distribuição Normal. O teste de Anderson-Darling é um teste estatístico usado para verificar se um conjunto de dados segue uma distribuição específica, como a distribuição normal. Ele avalia quão bem os dados se ajustam à distribuição desejada, calculando uma estatística de teste e um valor p. Um valor p baixo indica que os dados não se ajustam bem à distribuição, enquanto um valor p alto sugere um bom ajuste (Scholz & Stephens, 2012).

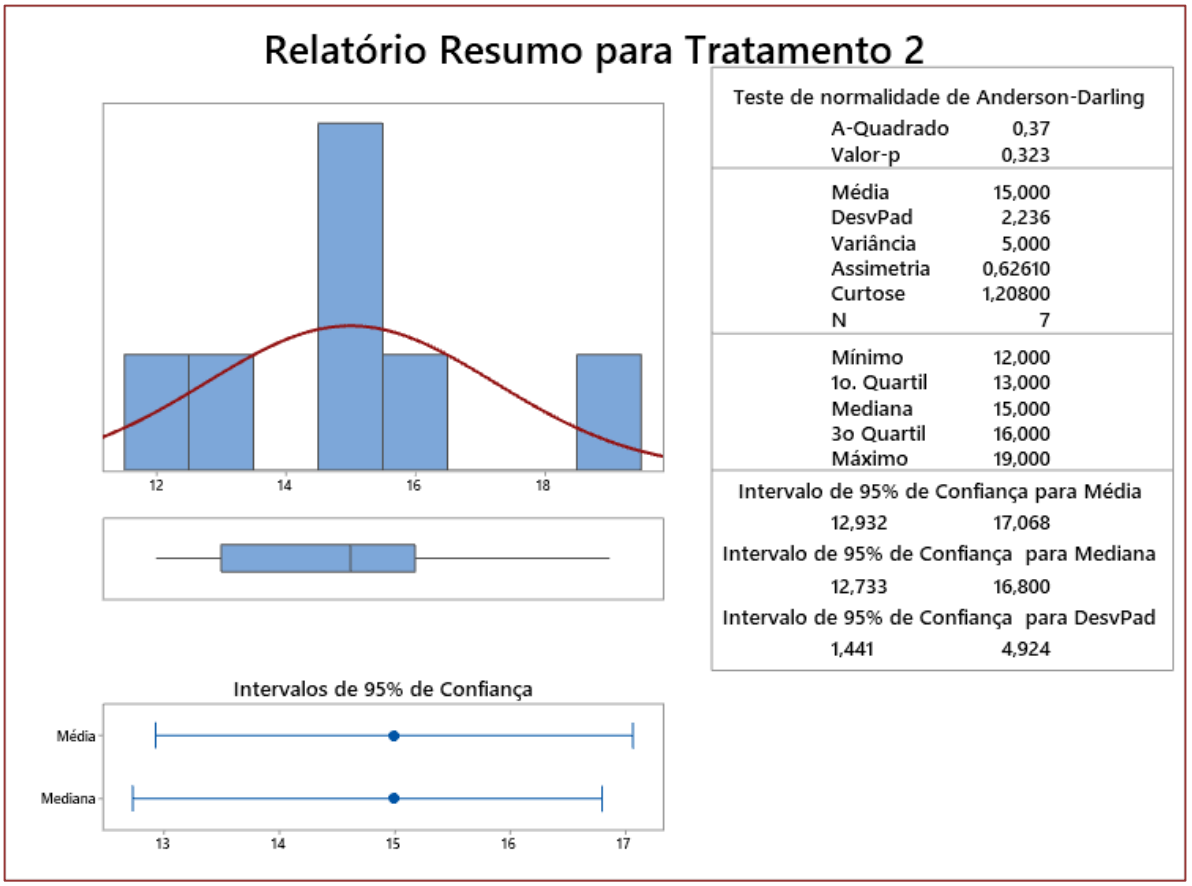
Figura 2. Teste de Anderson Darling para a Amostra 1



Fonte: Autores (2025).

Na Figura 2 o valor do p-value foi 0,626 (62,6%) e na Figura-3 foi 0,323 (32,3%) ambos acima de 0,05 (5%).

Figura 3. Teste de Anderson Darling para a Amostra 2



Fonte: Autores (2025).

Realizou-se na sequência o teste para se verificar a Homoscedasticidade, para se verificar se a variância de uma variável aleatória é constante em todos os níveis de outra variável. Como o Teste da Homoscedacidade mostrou que como p-Value é maior que 0,05 (5%) as Variâncias são iguais, não Rejeita Ho.

Tabela 1. Testes de Homoscedacidade

Hipótese nula		$H_0: \sigma_1 / \sigma_2 = 1$		
Hipótese alternativa		$H_1: \sigma_1 / \sigma_2 \neq 1$		
Nível de significância		$\alpha = 0,05$		
Método	**Estatística de teste**	**GL1**	**GL2**	**Valor-p**
Bonett	*			0,769
Levene	0,00	1	15	0,969

Fonte: Autores (2025).

Uma vez que os pressupostos estatísticos de Normalidade e Homoscedasticidade não foram violados partiu-se para a análise dos dados. Realizou-se então o Teste t para 2 Amostras, esse teste compara as médias de duas populações independentes. Ele determina se a diferença observada entre as médias das amostras é estatisticamente significativa, indicando uma diferença real entre as médias populacionais, ou se a diferença pode ser explicada pelo acaso. O Teste pode ser observado na Tabela 2.

Tabela 2. Teste t para 2 Amostras

Hipótese nula		H_0: $\mu_1 - \mu_2 = 0$
Hipótese alternativa		H_1: $\mu_1 - \mu_2 \neq 0$
Valor-T	**GL**	**Valor-p**
-2,84	12	0,015

Fonte: Autores (2025).

Como o valor do p-value obtido foi de 0,015 (1,5%) logo Rejeitou-se Ho os Tratamentos têm uma diferença significativa. Se quiser fazer a comparação pelo valor do t, pode-se ver que como Tcalculado = 2.90215 é maior que Ttabelado = 2.15 Rejeita Ho. Existe Diferença Significativa entre os Tratamentos.

Tabela 3. Estatísticas Descritivas

Amostra	N	Média	DesvPad	EP Média
Tratamento 1	10	12,00	2,00	0,63
Tratamento 2	7	15,00	2,24	0,85

Fonte: Autores (2025).

Outra observação importante é que o Tratamento 2 é mais eficiente que o Tratamento 1 pois sua Média é maior.

5. CONCLUSÔES

Este estudo teve como objetivo mostrar a importância do Teste t para duas Amostras Independentes em análises ambientais. Os resultados comprovaram que existiu de fato diferença entre o Tratamento de Aeração nos pontos do rio estudados e ainda que o Tratamento 2 foi mais eficiente pois sua Média foi maior mostrando uma diferença maior entre a DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) antes e depois do tratamento.

REFERÊNCIAS

[1] André Vilela Komatsu. (2017). *Comparação dos poderes dos Testes T de Student e Man Whitney Wilcoxon Pelo Método de Monte Carlo*. *VI*, 121–127.

[2] Cardoso, R. P., Reis, J. S. D. M., Silva, D. E. W., Almeida, M. da gloria diniz de, Barros, J. G. M. de, & Sampaio, N. A. de S. (2023). Scientific Research Trends About Metaheuristics in Process Optimization and Case Study Using the Desirability Function. *Revista de Gestão e Secretariado*, *14*(3), 3348–3367.

https://doi.org/http://doi.org/10.7769/gesec.v14i3.1809

[3] Costa, M. C. B. (2011). a Importância Do Ensino Da Ferramenta De Planejamento Fatorial Para Estudantes De Engenharia. *Cobenge*, 1–7.

[4] Fonseca, D;Correa, M.P.O;Santos, R.R;Cardoso, R.P;Reis, J.S.M;Sampaio, N. A. . (2023). Effect of pollution on physical and chemical water data : a multivariate statistical analysis Efeito da poluição nos dados físicos e químicos da água : uma análise estatística multivariada. *Revista de Engenharia Térmica*, *14*(5), 7353–7366. https://doi.org/10.7769/gesec.v14i5.2125

[5] Lescura, M. M., Alves, J. C., & Sampaio, N. A. de S. (2023). Linear low density polyethylene film process capability analysis Análise de capacidade de processo de filme de polietileno linear de baixa densidade. *Revista de Gestão*, *14*(5), 8103–8110. https://doi.org/10.7769/gesec.v14i5.2183

[6] Neto, F. C., Cristina, A., & Soares, N. (2003). *Inferência em Modelos Heteroced ´. 57*(2), 319–335.

[7] Reis, J. S. da M., Neto, R. S. P., Espuny, A. L. G., Barros, J. G. M. de, Sampaio, N. A. de S., & Barbosa, L. C. F. M. (2023). New Indicators for Commercial Technical Support Development. *Revista de Gestão e Secretariado*, *14*(5), 8272–8285. https://doi.org/0.7769/gesec.v14i5.2210

[8] Rezende, M. D., Rosa, C. S. da, Cardoso, R. P., Reis, J. S. da M., & Sampaio, N. A. de S. (2023). Statistics as a Tool for Decision Making in Agricultural and Environmental Experiments. *Revista de Gestão e Secretariado*, *14*(4), 5204–5217. https://doi.org/10.7769/gesec.v14i4.1978

[9] Sales, J. P. de, Reis, J. S. da M., De, J. G. M., Barros, da Fonseca, B. B., Araujo, A. H. de, Junior, Almeida, M. da G. de, Motta, L. C. F., Barbosa, Santos, G., & Sampaio, N. A. de S. (2021). Quality management in the contours of continuous product improvement. *International Journal for Quality Research*, *16*(3), 689–702. https://doi.org/10.24874/ijqr16.03-02

[10] Sampaio, N. A. de S., Reis, J. S. da M., Espuny, M., Cardoso, R. P., Gomes, F. M., Pereira, F. M., Ferreira, L. C., Barbosa, M., Santos, G., & Silva, M. B. (2022). Contributions to the future of metaheuristics in the contours of scientific development. *Gestão & Produção*, *29*(1), 1–19. https://doi.org/10.1590/1806-9649-2022v29e099

[11] Scholz, F. W., & Stephens, M. A. (2012). K-Sample Anderson–Darling Tests. *Journal of the American Statistical Association*, *82*(399).

[12] Yamada, J. T., Viana, R. S. E., Santos, R. R., Carvalho, C. P. de, Almeida, M. da G. D. de, Barros, J. G. M. de, & Sampaio, N. A. de S. (2023). Use of factorial design with significant interaction and Tukey ' s Test in agricultural and environmental experiments Uso de planejamento fatorial com interação significativa e teste de Tukey em experimentos agrícolas e ambientais. *Revista de Gestão e Secretariado*, *14*(6), 9815–9828. https://doi.org/10.7769/gesec.v14i6.2335

Capítulo 10

Modelo multicritério para a gestão de equipes de projetos em empresas juniores

Kauê Fernandes Dias Ventris
Felipe Segateli Irikawa
Daniel Angelo Longhi
Juliana Verga Shirabayashi
Marco Aurélio Reis dos Santos
Rafael Germano Dal Molin Filho

Resumo: O processo de tomada de decisão acontece diariamente no planejamento e operação de todas as diretorias de uma Empresa Júnior (EJ). Dessa forma, este trabalho teve como objetivo a elaboração de um modelo que auxilie o processo de tomada de decisão pelos diretores de projetos de EJ's sobre cinco decisões características e importantes no exercício da função. Foi realizada uma pesquisa sistemática a respeito das Técnicas de Multicritério de Apoio a Decisão (MCDA), de forma a embasar a escolha do método *Analytic Hierarchy Process* ou AHP para este estudo, em função de sua robustez e clareza na apresentação dos resultados. Foram definidas, a partir da vivência empresarial júnior do presente autor como diretor de projetos, cinco importantes decisões as quais um diretor é incumbido durante sua atividade, são elas: definição da quantidade de membros nos projetos, seu tempo de duração, especificidades para formação da equipe, a escolha do gerente e o desligamento do membro da EJ. Ademais, para cada decisão, foi estipulado um conjunto de critérios de análise e alternativas a serem considerados durante o julgamento. De forma atribuir uma relação hierárquica, além de validar a escolha das decisões e critérios, realizou-se uma pesquisa *survey*, junto a outros diretores de EJ's para a definição do grau de relação entre cada critério e sua respectiva decisão. Foram levantadas ao todo 5 respostas para a pesquisa. Ao final, estabeleceu-se uma associação entre os critérios e as alternativas propostas, fornecendo direcionamento adequado ao diretor diante do conjunto de decisões estratégicas que foram objeto deste estudo.

Palavras-chave: AHP, Empresa Júnior, MCDA e Tomada de Decisão.

1. INTRODUÇÃO

A conjuntura empresarial contemporânea tem demandado das organizações cada vez mais eficiência e eficácia em seus processos e produtos. Com a expansão do uso de novas tecnologias advindas da Quarta Revolução Industrial, a qual proporcionou uma transformação formidável nos modelos industriais utilizados, além da abrangente aplicação de metodologias e ferramentas, como por exemplo as Metodologias Ágeis e o *Enterprise Resourse Planning* (ERP), os quais trouxeram grandes avanços na gestão de negócios e projetos, as empresas têm buscado cada vez mais novas maneiras de atingir a competência que o mercado vem exigindo (Costa, 2012).

Este cenário competitivo aumenta a importância que as decisões apresentam dentro das organizações. Dessa forma, é significativo que elas aconteçam de forma rápida e assertiva para que os resultados esperados sejam atingidos. As decisões são tomadas em todos os níveis e a todo momento, seja pela alta gerência da empresa, equipes de projetos ou até mesmo pelo chão de fábrica.

As decisões não ocorrem somente nas empresas tradicionais. Empresas juniores, que segundo o Sebrae (2017) se constituem em uma associação civil sem fins lucrativos, as quais são formadas e geridas por alunos de um curso superior, também realizam decisões durante suas atividades e projetos. É neste contexto que se despontam as Técnicas de Multicritérios de Apoio à Decisão (MDCA), do inglês *Multi-Criteria Decision Analysis*, as quais consistem em abordagens quantitativas e qualitativas que solucionam um problema e trazem resposta à decisão, com base em uma análise apoiada em determinados critérios e diferentes alternativas (Beria *et al*., 2012; Guarnieri *et al*., 2015).

Deste modo, o presente estudo buscou desenvolver um modelo multicritério para o planejamento e tomada de decisão para diretores de projetos em empresas juniores. O modelo foi construído a partir do método AHP, com certas adaptações que tornassem possível a inferência de outros diretores de projetos a respeito dos critérios estabelecidos para cada decisão.

1.1. O PROCESSO DE TOMADA DE DECISÃO

Para que se possa ter um conhecimento adequado a respeito dos MCDA, é importante conhecer primeiro como se dá o processo de tomada de decisão. A decisão em si, segundo o dicionário *Michaelis* (2021), consiste no ato ou efeito de decidir, isto é, solucionar algo difícil sem hesitação, com firmeza. Porém, para que ela ocorra dessa forma é importante saber que nem todas as decisões são de fácil resolução, visto que podem provocar grandes insatisfações, riscos ou até mesmo custos ao decisor (Costa, 2012).

De acordo com Dessler (2004) e Boddy (2005), as decisões podem se distinguir de acordo com algumas classificações. Elas podem ser programadas, quando são decisões de rotina, as quais podem ser decididas por meio de um conjunto estabelecido de procedimentos e regras, ou então não programadas, sendo elas inesperadas e únicas. Ademais, as decisões podem ser estratégicas ou operacionais (quando é levado em conta a amplitude de suas implicações para a organização), ou então dependentes e independentes (caso ela seja influenciada por decisões anteriores).

A decisão não requer necessariamente a definição de objetivos organizacionais, ela pode manifestar-se também com o surgimento de uma determinada oportunidade ou problema. Além disso, o processo da tomada de decisão em si não culmina com a escolha

e implementação da alternativa selecionada, sendo igualmente necessário um processo de avaliação e monitoramento da opção definida (Costa, 2012). Dessa forma, pode-se observar que se trata de um processo cíclico, visto que a todo momento objetivos organizacionais, oportunidades e problemas irão surgir, sendo essencial um processo de tomada de decisão correto, precedido por um acompanhamento que confirme sua eficácia.

Finda a definição do termo "decisão", é possível entender como o processo de tomada de decisão acontece, de maneira a atingir os objetivos propostos inicialmente. Costa (2012) lista cinco etapas que compões esse processo. São elas:

- *Estabelecer um argumento de sucesso*: etapa cuja finalidade é criar condições para que a decisão possa acontecer. Nela estão presentes o questionamento a ser decidido, além das expectativas criadas a respeito do resultado da decisão final;
- *Obter as informações adequadas*: levantamento de informações que possam vir a ser utilizadas ou que podem influenciar os objetivos propostos. Etapa crítica para que a decisão apresente o resultado esperado;
- *Existirem alternativas*: após o levantamento e análise das informações, devem ser identificadas todas as alternativas existentes para a resolução do problema;
- *Avaliar as alternativas*: análise das implicações, riscos, vantagens e desvantagens que cada alternativa pode apresentar; e
- *Escolher a melhor alternativa*: com base na avaliação desenvolvida na etapa anterior, a alternativa mais adequada àquela situação é escolhida. Etapa complexa, visto que a decisão da alternativa por vezes não ocorre de maneira simples.

Marakas (1998) apresenta ainda que para além das cinco etapas descritas, existem autores que propõem outras fases para o processo, como por exemplo: fase de estímulo, participantes da decisão, definição do problema, implementação, dentre outras. Todas se apresentam como complementações as cinco inicialmente apresentadas.

O processo e análise descritos possuem o propósito de aumentar a possibilidade de que a decisão tomada seja assertiva e que atinja o objetivo proposto inicialmente. Entretanto, existem certas armadilhas inerentes a decisão que devem ser conhecidas e levadas em conta, de maneira a evitá-las durante o percurso. Hammond *et al*. (1998) e Shimizu (2001) apresentam algumas dessas armadilhas, sendo elas:

- Excesso de confiança, chegando a ponto de rejeitar evidências que podem influenciar a decisão;
- Previsão, antecipando fases como a análise das informações ou alternativas;
- Comparação, com experiências vividas que não possuem correlação com a situação atual;
- *Status-Quo*, onde os gestores não se interessam em mudar as relações e o ambiente que atuam; e
- Âncora, ficando preso as primeiras informações apenas.

Dessa maneira, é de grande valia analisar se nenhuma delas encontra-se presente durante o processo de tomada de decisão, minimizando assim possíveis riscos e falhas resultantes de uma decisão equivocada e incorreta.

1.2. TÉCNICAS DE MULTICRITÉRIOS DE APOIO À DECISÃO

A tomada de decisão consiste em realizar uma escolha, dentro de um conjunto de alternativas, que satisfaça os objetivos ou problemas propostos inicialmente. É importante que essa escolha seja realizada de forma eficiente, a fim de que a alternativa ofereça os melhores resultados possíveis. Entretanto, para que isso ocorra, é significativo levar em conta certos atributos e critérios associados às opções, para que elas possam ser comparadas entre si, proporcionando assim a escolha do melhor cenário possível. É nessa conjuntura que se apresentam as Técnicas de Multicritérios de Apoio à Decisão (MCDA), que consistem em um método de decisão que faz uso de técnicas numéricas, de modo a auxiliar os decisores a escolher uma opção de um conjunto discreto de alternativas (Costa, 2012).

Os métodos de análise multicritério, segundo Valois (2008), tiveram um desenvolvimento significativo durante a década de 60, por meio do surgimento de novas escolas de pesquisadores, as quais utilizavam diferentes técnicas para a tomada de decisão. Contudo, a estabilidade de mercado da época, associada a uma economia de escala, não exigiam das organizações tal eficiência de escolha. Com o contínuo processo de globalização, e a necessidade constante de agilidade e assertividade, esses métodos encontram um cenário ideal para se destacarem e proporcionarem as organizações maior vantagem competitiva.

Através da decisão multicritério, a solução de problemas com objetivos geralmente conflitantes torna-se possível com uso de abordagens quantitativas e qualitativas, além de permitir o acréscimo de percepções de grupos de interesse (Barbieri *et al*., 2017). Conforme Beria *et al*. (2012) e Guarnieri *et al*. (2015), para que uma decisão seja considerada multicritério, ela deve incluir a análise de pelo menos duas alternativas com relação a critérios distintos para a tomada de decisão.

De acordo com Hites *et al*. (2006), existem quatro razões importantes que justificam a utilização dos métodos de decisão multicritério. São elas:

1) Eles possibilitam que os interesses e objetivos de múltiplos autores sejam investigados e integrados, independente se forem informações qualitativas ou quantitativas, de modo que cada ator é considerado com um critério ou fator de peso;
2) Formato “simples” da saída de informações do método, de maneira que os resultados são diretamente aplicáveis para as partes interessadas;
3) O método de avaliação das alternativas é bem conhecido; e
4) São métodos que comportam a objetividade, além de possibilitarem a inserção de diferentes percepções de cada ator.

Banville *et al*. (1998) destaca outras vantagens advindas da utilização dos MCDA, como a análise do contexto e organização da tomada de decisão, cooperação e consenso entre os atores e pôr fim a legitimação da decisão final, proporcionando assim maior coerência entre os objetivos propostos e a decisão tomada.

Cada um dos métodos pode ser classificado de acordo com a quantidade de decisores envolvidos no processo ou o tipo de dado analisado. Dessa forma, a seguir estão expostos alguns dos MCDA mais utilizados.

1.2.1. O MÉTODO AHP

O método AHP ou *Analytic Hierarchy Process* consiste em um método de tomada de decisão criado em 1970 por Thomas Lorie Saaty, e que possui como fundamento a decomposição e síntese das relações existentes entre os critérios, de modo que seus indicadores se tornem priorizados, e dessa forma se aproximar de uma melhor resposta ao problema (Saaty e Vargas, 2012). Segundo Rivas (2016), a ideia central por trás da realização de uma análise hierárquica é a atenuação do estudo de sistemas a uma sequência de comparações por pares.

O método, de acordo com Carmo (2017), se baseia na comparação entre alternativas, utilizando uma escala métrica que é apropriada para refletir o grau de preferência do decisor por cada uma delas. Esta escala é composta por pesos numéricos, cotações ou prioridades que são delegados a cada elemento da hierarquia, de modo a permitir que elementos variados, e que por vezes não são estimáveis, possam ser racionalmente comparáveis entre si (Costa, 2012). Inicialmente são realizadas as comparações de acordo com cada critério, e em seguida os resultados são reunidos com o propósito de se obter uma única ordenação das alternativas (Carmo, 2017). Esta capacidade comparativa é uma característica que, segundo Costa (2012), distingue o AHP das demais técnicas de tomada de decisão.

A seguir, são elencadas as principais características do método AHP (Vieira, 2006):

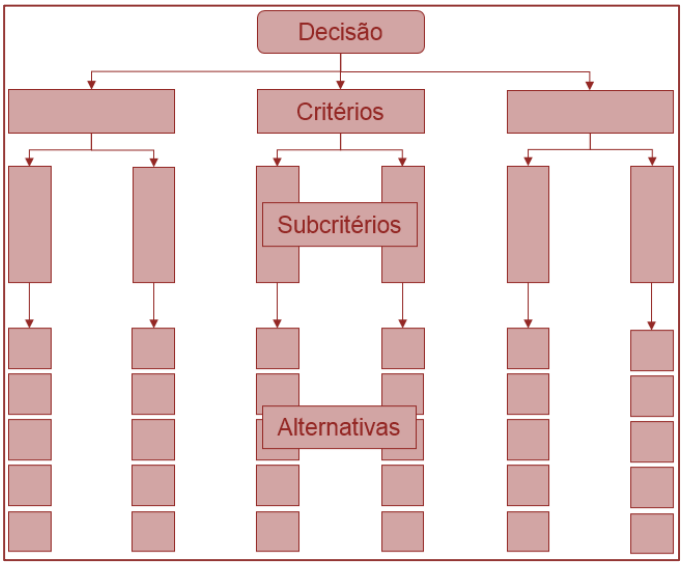
- Oferta de interpretação e estudo com baixa complexidade, facilitando assim a compreensão do processo analítico pelas partes envolvidas;
- Utilização de procedimentos rigorosos e sistemáticos, os quais reduzem a ambiguidade durante a análise feita;
- Negociação e determinação de compromissos entre os critérios;
- Possibilita estimar o nível de satisfação de cada alternativa, e dessa forma ordenar a importância de cada assunto; e
- Determina o resultado final com base na síntese dos diferentes julgamentos exercidos pelas partes relacionadas.

Para que o método se desenvolva plenamente, é necessário que alguns passos sejam seguidos, de maneira que o processo decisório seja feito de forma organizada e com as prioridades definidas. Os passos estão descritos a seguir (Costa, 2012):

Passo 1: Definição do problema e do tipo de conhecimento pretendido;

Passo 2: Estruturação do problema de forma hierarquizada, contendo o objetivo da decisão, os critérios (de maneira mais ampla), os subcritérios (mais assertivos) e as alternativas em si. Um exemplo de estruturação pode ser observado na Figura 1.

Figura 1 – Hierarquias do AHP



Fonte: Adaptado de Saaty (1991).

Passo 3: Construção de um conjunto de matrizes de comparação de pares de elementos, sendo que cada elemento de nível superior é utilizado para comparação com elementos de nível imediatamente abaixo. São comparadas assim as alternativas e os critérios existentes. A partir da decomposição do problema, e da construção da hierarquia, inicia-se processo de ordenar por critérios de modo a definir a importância relativa dentro de cada nível. Um modelo da matriz descrita pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1: Modelo de matriz de prioridade dos critérios

	Critério 1	Critério 2	Critério 3
Critério 1	1		
Critério 2		1	
Critério 3			1

Fonte: Adaptado de Saaty (1991).

Passo 4: São estabelecidas as prioridades e atribuídas as cotações, por meio da criação de julgamentos embasados nas comparações de pares de elementos, obtendo assim uma prioridade global. Para que as comparações sejam desenvolvidas, é preciso uma escala de números que informe quantas vezes um elemento é mais importante/dominante em relação a outro, conforme o critério utilizado para comparação. Essa cotação é atribuída conforme exposto na Tabela 2.

Tabela 2 – Níveis de importância de comparações binárias

Nível de Importância	Definição	Explicação
1	Igual Importância	Ambas atividades contribuem de forma igual para o objetivo
3	Fraca Importância	Uma das atividades é favorecida levemente pela experiência e julgamento
5	Forte Importância	Uma das atividades é favorecida fortemente pela experiência e julgamento
7	Muito Forte Importância	Uma das atividades é muito fortemente favorecida em relação a outra
9	Importância Absoluta	Uma das atividades é favorecida com o mais alto grau de certeza, quando analisadas as evidências
2,4,6,8	Valores Intermediários	Busca por uma condição de compromisso entre duas definições

Fonte: Adaptado de Saaty (1991).

Saaty (1991) apresenta que se $C = \{C_j \,/\, j = 1, 2, \dots, n\}$, é o conjunto de critérios, o resultado advindo das comparações de importância em n critérios podem ser sintetizado em uma matriz $A = (nxn)$, de forma que cada elemento a_{ij} $(i, j = 1,2, \dots, n)$ é o quociente dos pesos dos critérios. Isso pode ser observado na equação a seguir.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix}, a_{ii} = 1, a_{ji} = \frac{1}{a_{ii}}, a_{ii} \neq 0$$

Passo 5: Criação de um processo matemático que normalize e defina os pesos relativos para cada matriz. Os pesos relativos (w) são advindos da divisão dos elementos que condizem com a maior importância (λmax), no qual λ é o grau de importância de cada alternativa. Dessa maneira, é possível chegar na seguinte equação:

$$Aw = \lambda max w$$

Se as comparações realizadas forem integralmente adequadas, a matriz A possuirá classe 1 e $\lambda max = n$. Costa (2012) afirma que neste cenário, os pesos podem ser encontrados através da normalização de uma coluna ou linha da matriz A.

Um importante valor a ser calculado nessa etapa é o Índice de Coerência (CI). Este valor será utilizado na próxima fase para o cálculo da Razão de Consistência (RC). O CI é calculado através da seguinte equação:

$$CI = \frac{\lambda max - n}{n - 1}$$

Passo 6: Com base no valor encontrado para o CI, o RC é calculado de acordo com a equação abaixo, no qual RI é o Índice Aleatório:

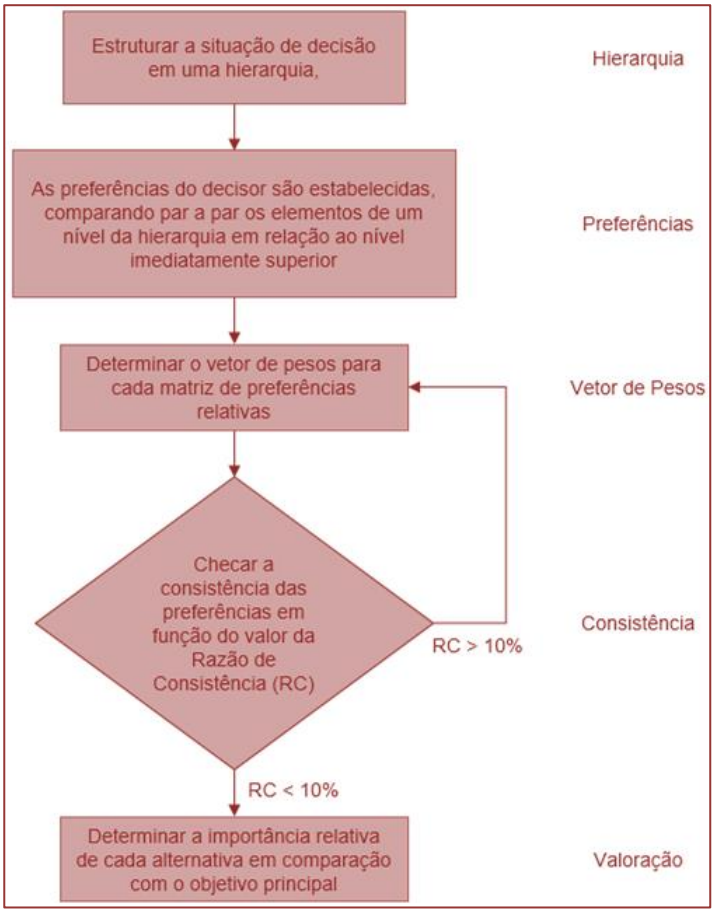
$$RC = \frac{CI}{RI}$$

O valor limite superior para o RC é de 10%. Caso esse valor seja ultrapassado, deve-se repetir o procedimento de avaliação, de modo a melhorar a coerência.

Passo 7: Com base nos resultados encontrados no processo, chega-se finalmente em uma decisão.

Por fim, a Figura 2 ilustra por meio de um fluxograma uma síntese das etapas que estão presentes durante o funcionamento do método AHP:

Figura 2 – Fluxograma do método AHP



Fonte: Adaptado de Vilas Boas (2006) .

Através da análise da Figura 2, podemos identificar à medida que o método prossegue, a hierarquização, a atribuição de pesos e a comparação entre as possibilidades, citadas anteriormente.

1.2.2. O MÉTODO MACBETH

O método MACBETH ou *Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Techinique* foi desenvolvido por Carlos Bana e Costa e Jean Claude Vansnick em 1994, e consiste em um modelo para resolução de problemas, cuja construção seja uma função de valor cardinal (Bana e Costa e Vansnick, 1999). Conforme Bana e Costa e Vansnick (1999) um critério cardinal é "um critério para o qual a comparação de diferença de valores, ou mais genericamente, intervalos, é significativa". Desse modo, a proposta do método é ser uma abordagem que busque uma análise de juízo sobre as diferenças de valor, de forma

qualitativa, ajudando assim o decisor quantificar seu interesse nas opções existentes (Bana e Costa e Chagas, 2004).

O MACBETH mensura o grau de preferência do decisor a respeito de um conjunto de alternativas, e por consequência permite que seja verificada a inconsistência dos resultados. Esse fato possibilita a revisão dos resultados, de maneira que essa interatividade é uma das grandes vantagens que o método apresenta (Costa, 2012).

Por fim, segundo Bana e Costa e Vansnick (1999), o método consiste em uma ferramenta simples e de fácil entendimento, que apresenta características humanistas, interativas e construtivistas, a qual possui parâmetros de fácil interpretação para o usuário.

1.2.3. O MÉTODO PROMETEE

Os métodos PROMETEE ou *Preference Ranking Organization Method For Enrichment Evaluations* são um conjunto de métodos que tem o objetivo de investigar e compor uma relação de sobreclassificação de valores, proporcionando assim a incorporação de conceitos e parâmetros que tornam mais facilitada a interpretação do decisor (Rivas, 2016) Os métodos foram apresentados pela primeira vez em 1982, e desde então vem sendo objetos de desenvolvimentos e adaptações ao uso.

De acordo com Flament (1999), o PROMETEE I traz uma alternativa que considera os fluxos mensuráveis de cada alternativa. Já as outras versões, como o PROMETEE II, III, IV e V, são mais recomendados para análise de situações que necessitam de decisões mais complexas, particularmente de problemas com características estocásticas.

Por analisar cada par de ações de acordo com a diferença de pontuação que cada ação possui a respeito de cada atributo, a abordagem utiliza-se do conceito de critério abstrato (Flament, 1999). Santos (2005) recomenda sua utilização na resolução de problemas que apresentem vários critérios de decisão, que devem ser minimizados ou maximizados de acordo com cada objetivo, e um número finito de alternativas.

Algumas vantagens do método PROMETEE, segundo Rivas (2016), são: a facilidade dos decisores para compreenderem os conceitos e parâmetros relacionados aos métodos, simplificando assim o processo de modelagem de preferências e aumentando a efetividade da aplicação do método em si; e sua fácil implementação em linguagem de computador.

1.3. EMPRESAS JUNIORES

Segundo Matos (1997) uma Empresa Júnior (EJ) é uma associação civil, sem fins lucrativos, a qual é gerenciada e constituída unicamente por alunos de graduação. Seu principal objetivo é proporcionar aos estudantes uma vivência profissional antes de se formarem, de maneira a aplicarem e aprimorarem os conhecimentos teóricos adquiridos ao longo do seu curso (Penha *et al*., 2015).

O Movimento Empresa Júnior (MEJ) teve início na França, em 1967, no qual estudantes da *ESSEC Business School* criaram uma associação sem fins lucrativos denominada *Junior-Enterprise*, com o objetivo de sanar a necessidade de desenvolverem experiências práticas que pudessem complementar sua formação acadêmica (Matos, 1997). Dessa maneira, os estudantes eram confrontados diretamente com a realidade empresarial que encontrariam após sua graduação. Esse conceito rapidamente se difundiu no meio

acadêmico francês, o que possibilitou o surgimento da Confederação Nacional das Empresas Juniores em 1969, a qual em 1980 já possuía mais de 100 EJ's federadas. A partir de 1986 começaram a surgir empresas juniores em países como a Bélgica, Espanha, Holanda, Itália, Portugal, dentre outros.

A primeira EJ criada no Brasil foi a Júnior GV, na Fundação Getúlio Vargas em 1989. A partir daí o movimento teve grande evolução no cenário nacional, com o surgimento das federações, as quais possuem a função de expandir e manter a coerência do MEJ, e da Brasil Júnior (Confederação Brasileira de Empresas Juniores) em 2003, que trabalha de maneira a fomentar e dar o suporte necessário a todas as EJ's do Brasil, ademais potencializar os resultados de cada federação (Matos, 1997).

De acordo com Guimarães *et al*. (2013), existem três principais objetivos de uma empresa júnior, são eles: i) proporcionar aos estudantes a oportunidade de eles aplicarem seus conhecimentos teóricos, relacionados ao seu curso, na prática; ii) desenvolvimento da capacidade crítica, analítica e empreendedora dos estudantes; iii) facilitar a entrada no mercado de trabalho, visto que o aluno já possui conhecimento prático; e iv) proporcionar a sociedade serviços de qualidade e a preços acessíveis (já que o objetivo não é a geração de lucro).

A vivência pelos estudantes do MEJ possibilita o desenvolvimento e ganho de outras características pessoais, como por exemplo a criatividade, a iniciativa, determinação, liderança, profissionalismo, tomada de decisão de forma dinâmica, senso de responsabilidade, capacidade de negociação e trabalho em equipe (Oliveira, 1997; Oliveira *et al*., 2009). Todas as *soft* e *hardskills* adquiridas pela vivência do MEJ, tornam os estudantes muito mais capacitados para o mercado de trabalho e consequentemente para sua carreira profissional.

Durante sua passagem pela EJ, os alunos se deparam com situações as quais devem ser tomadas decisões que por vezes podem influenciar sua empresa e as demais pessoas envolvidas no assunto. Dessa forma, é importante que essa decisão seja realizada da melhor forma possível e que leve em consideração tanto as informações disponíveis naquele momento, quanto as consequências que cada caminho pode acarretar. Neste cenário encontra-se o presente estudo, o qual busca propor um modelo multicritério para o planejamento e tomada de decisão em empresas juniores.

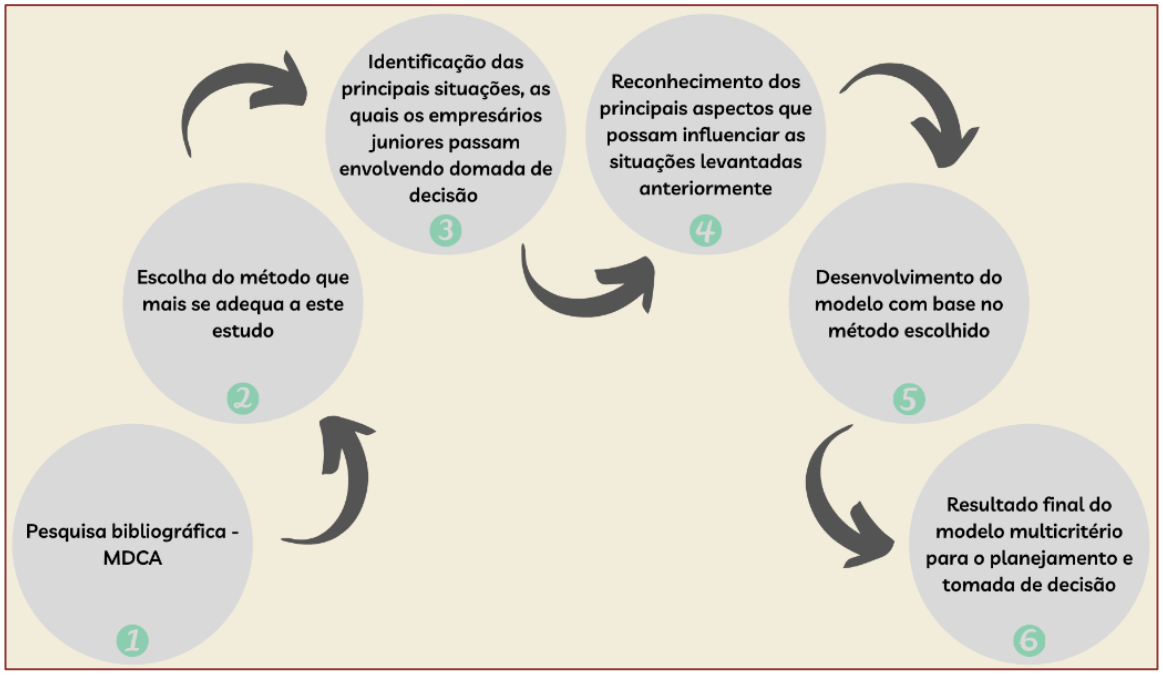
2. MATERIAIS E MÉTODOS

Conforme Silva e Menezes (2005, p. 19), uma pesquisa consiste em um conjunto de ações, propostas para encontrar a solução de um problema, as quais possuem como base procedimentos racionais e sistemáticos. Dessa forma, é necessário estabelecer qual o caráter da pesquisa e quais serão os passos a serem tomados para que essa pesquisa se desenvolva, de forma a solucionar o problema, além de encontrar o melhor resultado possível.

Isto posto, de acordo com Gil (2008) e Silva e Menezes (2005), o presente estudo pode ser classificado da seguinte maneira: i) uma pesquisa de caráter exploratório, tendo em vista que ela buscou desenvolver e esclarecer ideias e conceitos, proporcionando assim uma visão geral, de tipo aproximativo, acerca de determinado assunto; ii) aplicada, pois desenvolve um conhecimento a ser aplicado de maneira prática à solução de problemas específicos; e iii) qualitativa e quantitativa, já que faz uso tanto de números quanto de

ideias e ações para analisar e desenvolver o problema. Os passos que foram desenvolvidos neste estudo estão presentes na Figura 3.

Figura 3 – Etapas de desenvolvimento do presente estudo



Fonte: Autores (2025).

Dessa maneira, num primeiro momento, o estudo se deu por meio uma pesquisa bibliográfica, de forma a levantar informações e conhecimentos a respeito do MDCA, além do funcionamento e exemplos da utilização de alguns dos métodos. Esta abordagem possibilitou a escolha do método que mais se adaptou no presente estudo: o AHP, devido ao fato da técnica ser robusta e mais adequada ao modelo de estudo proposto neste relatório, e assim possibilitar meios para atingir os objetivos apresentados inicialmente.

Definido qual será o método utilizado no estudo, o próximo passo consistiu no levantamento das situações que envolvem tomada de decisão, nas quais os diretores de projetos passam ao longo de sua trajetória em uma EJ. As decisões foram escolhidas com base na vivência pessoal do autor como diretor, sendo elas: definição da quantidade de membros nos projetos, seu tempo de duração, as especificidades para formação da equipe, a escolha do gerente e o desligamento do membro da EJ. Além disso, foram estipulados um conjunto de critérios de análise e soluções para cada uma delas. Buscando atribuir uma relação hierárquica, e validar a escolha das decisões e critérios, foi realizada uma pesquisa *survey*, junto a outros diretores de EJ's para a definição do grau de relação entre cada critério e sua respectiva decisão. A pesquisa continha alternativas em uma escala de 0 à 9, a serem assinaladas pelos empresários juniores de acordo com sua percepção a respeito da relevância daquele critério. De forma a abranger uma quantidade maior de pessoas, e obter assim respostas mais plurais, advindas de diferentes cursos e empresas, a pesquisa foi realizada com empresários juniores vinculados ao Núcleo Maringá, isto é, cujas EJ's localizam-se na cidade de Maringá e região (estado do Paraná). Foram levantadas ao todo 5 repostas para a pesquisa.

Por fim, com todos os dados levantados, o modelo foi desenvolvido, de maneira a obter um arquétipo para o planejamento e tomada de decisão em empresas juniores. Para que o método AHP pudesse ser aplicado neste estudo, foi necessária a realização de certas modificações ao método original proposto por Saaty, de maneira a incluir as informações obtidas por meio da pesquisa *survey*.

A aplicação original do método AHP enuncia que a etapa inicial consiste na elaboração de uma matriz de comparação entre os critérios estabelecidos para o problema em questão, de forma que a atribuição dos níveis de importância de cada critério é de caráter subjetiva do autor. Haja visto que o presente estudo faz utilização dos dados advindos de uma pesquisa *survey*, a qual identifica a inferência de outros diretores de projetos a respeito dos critérios propostos, foi necessária uma adequação desta etapa inicial do método descrito por Saaty. Dessa forma, esta fase inicial – Etapa 1 foi fracionada em duas sub etapas, sendo elas: 1A, etapa adicional que realiza a inferência da pesquisa *survey*; e 1B, etapa que realiza a conversão das razões obtidas na fase 1A, na escala proposta por Saaty (de 1 à 9). As etapas apresentadas estão descritas a seguir:

- Etapa 1A

Foi desenvolvida uma matriz de comparação, estabelecida pelas razões entre as respostas levantadas na pesquisa *survey*. Para cada um dos critérios, foram identificadas as médias aritméticas das respostas, de maneira que estes valores são utilizados para o estabelecimento das razões entre os critérios.

- Etapa 1B

Esta etapa utiliza os valores obtidos na fase anterior, convertendo-os para a escala de Saaty. Essa conversão é necessária, pois a escala é apresentada apenas com valores inteiros. Para que as razões fossem convertidas, estabeleceu-se um critério de adequação, de modo que para cada valor da escala foi adicionado uma quantia de 0,1, aumentando assim o grau de precisão da conversão realizada. A escala de Saaty com o critério utilizado pode ser visto na Figura 4.

Figura 4 – Escala de Saaty adaptada

Escala de Saaty								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Baseado na Escala de Saaty (até o referido valor)								
1,1	2,1	3,1	4,1	5,1	6,1	7,1	8,1	9,1

Fonte: Autores (2025).

A conversão para a escala de Saaty marca o fim da Etapa 1 do método.

- Etapa 2

A fase 2 do método consistiu no cruzamento entre os critérios estabelecidos para cada decisão, com as respectivas soluções. Esse julgamento utilizou a escala original de Saaty, e teve como base a inferência pessoal do autor. Foram elaboradas uma tabela para cada critério.

- Etapa 3

Durante esta etapa, realizou-se o cruzamento entre os valores da etapa anterior, com os AVN's advindos da Etapa 1B. Como resultado final, foi obtido o Vetor de Decisão, ou seja, o valor que representa a hierarquia entre as soluções apresentadas. A solução com o maior Vetor de Decisão representa a melhor resposta a ser tomada para a respectiva decisão. As tabelas que exibem os cruzamentos realizados, estão presentes na seção "Resultados".

Todas as cinco decisões propostas neste estudo seguem o mecanismo proposto das três etapas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A adaptação ao método AHP original possibilitou que além da inferência pessoal do autor, fosse possível a utilização de outras ilações advindas de diretores de projetos com vivências e *know-how* distintos, mas que compartilham a mesma experiência como diretor de projetos em uma EJ.

Com base no modelo construído a partir dos passos descritos na Metodologia, foi desenvolvido um arquétipo que buscou associar as decisões, com seus respectivos critérios e soluções, de maneira a trazer o direcionamento mais adequado para a escolha do diretor. Os critérios e soluções adotados estão exibidos na Tabela 3.

Tabela 3 – Decisões, critérios e soluções

Quantidade de Membros	
Critérios	**Soluções**
Grau de dificuldade do projeto	Baixa priorização, no máximo 2 integrantes
Quantidade de membros presentes na EJ	Média priorização, no máximo 4 integrantes
Porte do cliente (tamanho da empresa)	Alta priorização, 6 integrantes ou mais
Disponibilidade dos membros	
Valor do projeto	
Formação da Equipe	
Critérios	**Soluções**
Experiência da pessoa com projetos iguais ou semelhantes	Presença de pelo menos 2 integrantes com experiência mínima em dois projetos concluídos
Conhecimento a respeito do serviço (realização de cursos, por exemplo)	Presença de integrantes de diversas áreas do Organograma da EJ
Afinidade entre os membros	Presença de um integrante da área específica do projeto
Inclusão de todos os integrantes da EJ na execução de projetos (rodízio de membros)	
Interesse dos membros da realização do serviço	
Multidisciplinaridade da equipe	
Tempo de Duração	
Critérios	**Soluções**
Grau de dificuldade do projeto	Estimativa de cima para baixo
Experiência com o serviço	Estimativa de baixo para cima
Valor do projeto	Estimativa paramétrica
Quantidade de membros no projeto	
Desejo de urgência do cliente	
Disponibilidade que o cliente demonstrou ter ao longo do projeto para o repasse de informações	

Tabela 3 – Decisões, critérios e soluções. (continuação)

Escolha do Gerente	
Critérios	**Soluções**
Tempo na empresa júnior	Experiências em outras funções
Experiência com o serviço (já executou antes, fez cursos relacionados, etc.)	Formação em disciplinas da área
Perfil de liderança	Participação em dois ou mais projetos finalizados
Busca em desenvolver a *skill* "gestão e liderança" no membro	
Interesse do membro	
Engajamento do membro com o resto do time, naquele momento	
Desligamento do Membro	
Critérios	**Soluções**
Proatividade	Tutoria assistida em novo projeto
Relacionamento com os demais membros	Realocação do membro em outras funções
Disponibilidade	Afastamento temporário do membro
Assiduidade com os compromissos da EJ	

Fonte: Autores (2025).

Definidos os critérios e soluções para o problema analisado, além de sua validação através da pesquisa *survey*, o método AHP foi colocado em prática com as adaptações propostas. Para a Etapa 1A, foi desenvolvida a matriz de comparação entre os critérios, com base nas respostas obtidas pela pesquisa *survey*. A Tabela 4 apresenta o resultado dessa matriz para a decisão de "Quantidade de Membros".

Tabela 4 – Etapa 1A para a decisão "Quantidade de Membros"

	1) Grau de dificuldade do projeto	2) Quantidade de membros presentes na EJ	3) Porte da empresa contratante (cliente)	4) Disponibilidade dos membros	5) Valor do projeto
1) Grau de dificuldade do projeto	1,00	1,12	1,23	1,23	1,37
2) Quantidade de membros presente na EJ	0,89	1,00	1,10	1,10	1,22
3) Porte da empresa contratante (cliente)	0,81	0,91	1,00	1,00	1,11
4) Disponibilidade dos membros	0,81	0,91	1,00	1,00	1,11
5) Valor do projeto	0,73	0,82	0,90	0,90	1,00

Fonte: Autores (2025).

Como sequência, na etapa 1B foi realizada a conversão dos valores obtidos na tabela anterior para a escala de Saaty. Ademais, foram gerados nesta fase os Auto Vetores e os Auto Vetores Normalizados para cada critério. A Tabela 5 exibe a conversão realizada, a qual marcou o fim da Etapa 1 do método, junto das demais informações descritas para a decisão "Quantidade de Membros".

Tabela 5 – Etapa 1B para a decisão "Quantidade de Membros"

	1) Grau de dificuldade do projeto	2) Quantidade de membros presentes na EJ	3) Porte da empresa contratante (cliente)	4) Disponibilidade dos membros	5) Valor do projeto	Auto Vetor	AVN
1) Grau de dificuldade do projeto	1	2	2	2	2	1,74	32,4%
2) Quantidade de membros presente na EJ	0,5	1	2	2	2	1,32	24,5%
3) Porte da empresa contratante (cliente)	0,5	0,5	1	1	2	0,87	16,2%
4) Disponibilidade dos membros	0,5	0,5	1	1	2	0,87	16,2%
5) Valor do projeto	0,5	0,5	0,5	0,5	1	0,57	10,7%

Fonte: Autores (2025).

Para a Etapa 2, foram cruzados os critérios e as soluções definidas para cada decisão, a partir da inferência pessoal do autor. A Tabela 6 mostra o cruzamento realizado para o critério "Valor do Projeto", presente na decisão de "Quantidade de Membros".

Tabela 6 – Etapa 2 para o critério "Valor do Projeto".

Soluções	5) Valor do projeto	Normalização
Baixa priorização, no máximo 2 integrantes.	8	40%
Média priorização, no máximo 4 integrantes.	5	25%
Alta priorização, 6 integrantes ou mais.	7	35%
	20,00	***1,00***

Fonte: Autores (2025).

Por fim, tem-se a Etapa 3, que realiza o cruzamento entre os AVN's obtidos na Etapa 1B, com os valores da etapa anterior. Isso gerou, para cada solução, um Vetor de Decisão que representa a melhor escolha a ser tomada pelo diretor. As Tabelas 7, 8, 9, 10 11 exibem os Vetores para cada uma das decisões.

Tabela 7 – Vetor Decisão para "Quantidade de Membros"

Critérios/alternativas	1) Grau de dificuldade do projeto	2) Quantidade de membros presentes na EJ	3) Porte da empresa contratante (cliente)	4) Disponibilidade dos membros	5) Valor do projeto	Vetor de Decisão
Vetor dos critérios (Etapa 2) (AVN)	32,4%	24,5%	16,2%	16,2%	10,7%	
Baixa priorização, no máximo 2 integrantes.	7%	37%	37%	40%	40%	27,92%
Média priorização, no máximo 4 integrantes.	33%	26%	26%	25%	25%	28,23%
Alta priorização, 6 integrantes ou mais.	60%	37%	37%	35%	35%	43,85%

Fonte: Autores (2025).

Como se pode observar na tabela 7, a principal solução para a decisão "Quantidade de Membros" é a de "Alta priorização, 6 integrantes ou mais", a qual possui um valor de Vetor de Decisão de 43,85%, seguida por "Média priorização, no máximo 4 integrantes" com 28,23% e "Baixa priorização, no máximo 2 integrantes" com 27,92%.

Tabela 8 – Vetor Decisão para "Formação da Equipe"

Critérios/alternativas	1) Experiência dos membros com projetos iguais/semelhantes	2) Conhecimento a respeito dos serviços (ex: realização de cursos)	3) Afinidade entre os membros	4) Inclusão de todos os integrantes da EJ na execução de projetos (rodízio de membros)	5) Interesse do membro na realização do projeto	6) Multidisciplinaridade da equipe	Vetor de Decisão
Vetor dos critérios (Etapa 2) (AVN)	23,2%	16,4%	13,0%	16,4%	14,6%	16,4%	
Presença de pelo menos 2 integrantes com experiência mínima em dois projetos concluídos.	7%	12%	11%	12%	10%	11%	10,24%
Presença de integrantes de diversas áreas do Organograma da EJ.	29%	35%	33%	35%	30%	39%	33,30%
Presença de um integrante da área específica do projeto.	64%	53%	56%	53%	60%	50%	56,46%

Fonte: Autores (2025) .

Já para a "Formação da Equipe", a principal escolha é a de "Presença de um integrante da área específica do projeto", com 56,46%. As demais alternativas apresentaram os valores de 33,30% ("Presença de integrantes de diversas áreas do Organograma da EJ") e 10,24% ("Presença de pelo menos 2 integrantes com experiência mínima em dois projetos concluídos") como Vetores de Decisão.

Tabela 9 – Vetor Decisão para "Tempo de Duração"

Critérios/alternativas	1) Grau de dificuldade do projeto	2) Experiência da EJ com o serviço	3) Valor do projeto	4) Quantidade de membros na equipe do projeto	5) Desejo de urgência do cliente	6) Disponibilidade que o cliente demonstrou ter durante a negociação, para o repasse de informações ao longo do projeto	Vetor de Decisão
Vetor dos critérios (Etapa 2) (AVN)	25,5%	18,1%	12,8%	12,8%	18,1%	12,8%	
Estimativa de cima para baixo*.	33%	41%	23%	43%	26%	33%	33,34%
Estimativa de baixo para cima**.	47%	32%	31%	29%	32%	28%	34,50%
Estimativa paramétrica***.	20%	27%	46%	29%	42%	39%	32,16%

Fonte: Autores (2025).

O "Tempo de Duração" demonstrou soluções com certa proximidade entre si. Aquela cujo valor do Vetor de Decisão foi maior é a "Estimativa de baixo para cima", com 34,50%. Esta escolha diz que o diretor deve dividir o projeto em partes menores e mais detalhadas, e em seguida estimar o tempo necessário para completar cada uma. Dessa forma ele é capaz de estimar o tempo total de duração de seu projeto. As mais soluções apresentaram os seguintes valores: 33,34% para "Estimativa de cima para baixo" e 32,16% para a "Estimativa paramétrica".

Tabela 10 – Vetor Decisão para "Escolha do Gerente"

Critérios/alternativas	1) Tempo do membro na EJ	2) Experiência com o serviço (já executou antes, fez cursos relacionados, etc.)	3) Perfil de liderança	4) Busca em desenvolver a skill "gestão e liderança" no membro	5) Interesse do membro	6) Engajamento do membro com o resto do time (naquele momento)	Vetor de Decisão
Vetor dos critérios (Etapa 2) (AVN)	16,5%	18,5%	14,7%	20,8%	14,7%	14,7%	
Experiências em outras funções.	28%	12%	43%	35%	38%	50%	33,29%
Formação em disciplinas da área.	33%	35%	29%	29%	19%	17%	27,58%
Participação em dois ou mais projetos finalizados.	39%	53%	29%	35%	44%	33%	39,13%

Fonte: Autores (2025) .

Para a decisão "Escolha do Gerente", é possível concluir com base na Tabela 10 que a principal alternativa é a "Participação em dois ou mais projetos finalizados", com 39,13%. Isso demonstra que a experiência que o membro possui no desenvolvimento de projetos é a principal característica que interfere em sua escolha como gerente. "Experiências em outras funções", com 33,29% e "Formação em disciplinas da área" com 27,58% representam a segunda e a terceira escolha, respectivamente.

Tabela 11 – Vetor Decisão para "Desligamento do Membro"

Critérios/alternativas	1) Falta de proatividade	2) Relacionamento ruim com os demais membros	3) Indisponibilidade (para projetos e assuntos gerais da EJ)	4) Falta de compromisso com os assuntos da EJ	Vetor de Decisão
Vetor dos critérios (Etapa 2) (AVN)	25,0%	25,0%	25,0%	25,0%	
Tutoria assistida em novo projeto.	26%	40%	19%	24%	27,15%
Realocação do membro em outras funções.	37%	40%	31%	29%	34,38%
Afastamento temporário do membro.	37%	20%	50%	47%	38,48%

Fonte: Autores (2025).

Por fim, para a decisão "Desligamento do Membro", a principal alternativa a ser tomada é o "Afastamento temporário do membro", com 38,48%. Isso atesta que o afastar da EJ por um curto período de tempo é uma saída ao seu desligamento. As próximas soluções correspondem a "Realocação do membro em outras funções" com 34,38% e a "Tutoria assistida em novo projeto", com 27,15%.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do cenário empresarial competitivo, que influência de maneira constante as empresas a se tornarem cada vez mais eficientes em seus processos internos, torna-se importante a agilidade de informações e decisões dentro da empresa. Essa característica afeta não somente as empresas tradicionais, como também as Empresas Juniores. Diante disto, o presente estudo buscou estabelecer um modelo de auxílio a tomada de decisão aos diretores de projetos, de maneira a abordar as cinco decisões mais importantes e características da função.

Para a primeira decisão, "Quantidade de Membros", foi observado que a principal escolha é a de "Alta priorização, 6 integrantes ou mais", a qual possui um valor de Vetor de Decisão de 43,85%. Já para a decisão "Formação da Equipe", a escolha "Presença de um integrante da área específica do projeto", com 56,46%, representou a principal solução. A decisão "Tempo de Duração" exibiu escolhas com valores próximos entre si, entretanto, a solução cujo valor do Vetor de Decisão foi maior é a "Estimativa de baixo para cima", com 34,50%. Para a "Escolha do Gerente", foi estabelecido que a "Participação em dois ou mais projetos finalizados", é a principal solução, com 39,13%. Por fim, tem-se que para o "Desligamento do Membro", a principal alternativa a ser tomada é o "Afastamento temporário do membro", com 38,48%.

Os resultados demonstraram que, ao aplicar o modelo multicritério, é possível identificar de forma clara as alternativas mais adequadas para a gestão das equipes em projetos de empresas juniores. Para cada decisão analisada, houve uma solução predominante: a quantidade de membros idealizou-se em seis ou mais integrantes; a formação da equipe deve contemplar a presença de um integrante da área específica do projeto; o tempo de duração apresentou preferência pelo método de estimativa de baixo para cima; a escolha do gerente favoreceu profissionais com participação em dois ou mais projetos finalizados; e, por fim, o desligamento de membros indicou o afastamento temporário como a

alternativa mais adequada. Dessa forma, o modelo oferece um direcionamento estruturado e consistente para decisões estratégicas, auxiliando na composição de equipes equilibradas e na condução eficiente dos projetos. O modelo foi elaborado a partir do método AHP adaptado, e como recomendação, é sugerido a realização da pesquisa *survey* com um número maior de pessoas, obtendo assim mais respostas e consequentemente, maior assertividade para o modelo criado.

REFERÊNCIAS

[1] BANA e COSTA, C. A.; CHAGAS, M. P. ***A career choice problem: An example of how to use MACBETH to build a quantitative value model based on qualitative value judgments***. *European journal of operational research* 153 (2), p. 323-331, 2004.

[2] BANA e COSTA, C. A.; VANSNICK, J. C. ***The MACBETH approach: Basic ideas, software and an application. Advances in Decision Analysis***, p. 131-157, 1999.

[3] BANVILLE, C.; LANDRY, M.; MARTEL, J.; BOULAIRE, C. ***A Stakeholder Approach to MCDA***. Syst. Res. Behav. Sci, v. 15, n. March 1996, p. 15–32, 1998. ISSN 01679236.

[4] BERIA, P.; MALTESE, I.; MARIOTTI, I. ***Multicriteria versus Cost Benefit Analysis: A comparative perspective in the assessment of sustainable mobility***. *European Transport Research Review*, v. 4, n. 3, p. 137-152, 2012.

[5] BOAS, Cíntia de Lima Vilas. **Modelo multicritérios de apoio à decisão aplicado ao uso múltiplo de reservatórios: estudo da barragem do ribeirão João Leite**. 2006. 158 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Gestão Econômica do Meio Ambiente, Universidade de Brasília, Brasília, 2006. VILAS BOAS, C. – Modelo multicritérios de apoio à decisão aplicado ao uso múltiplo de reservatórios: estudo da barragem do ribeirão João Leite, Mestrado em gestão econômica do meio ambiente, Universidade de Brasília, 2006.

[6] BODDY, D. ***Management: an introduction***. 3rd ed. Harlow: *Pearson education*, 2005.

[7] DESSLER, G. ***Management: principles and practices for tomorrow's leaders***. 3rd ed. *New Jersey: Prentice Hall*, 2004.

[8] FLAMENT, M. ***Glosário multicritério***. *Red iberoamericana de evaluación y decisión multicriterio*, 1999.

[9] GONCALVES, R. W. **Métodos multicritérios como apoio a decisão em comitês de bacias hidrográficas**. 2001. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência da Computação, Universidade de Fortaleza, Fortaleza, 2001. GONÇALVES, R. W. – Métodos multicritérios como apoio à decisão em comités de bacias hidrográficas. Dissertação de mestrado fortaleza, 2001.

[10] GUARNIERI, P.; SOBREIRO, V. A.; NAGANO, M. S.; SERRANO, A. L. M. ***The challenge of selecting and evaluating third-party reverse logistics providers in a multicriteria perspective: A Brazilian case***. *Journal of cleaner production*, v. 96, p. 209-219, 2015.

[11] GUIMARÃES, T. de A.; MOREIRA, N. C.; BAETA, O. V. **A negociação com clientes em empresas juniores da Universidade Federal de Viçosa – Campus Viçosa/MG**. Revista de Administração da UNIPEP, v.11, n.1, p. 81-103, 2013.

[12] HAMMOND, J. S.; KEENEY, R. L.; RAIFA, H. ***– Smart choices: A practical guide to making better decisions***, *Harvard business school press Boston*, 1998.

[13] HITES, R.; De Smet, Y.; RISSE, N.; SALAZAR-NEUMANN, M.; VINCKE, P. ***About the applicability of MCDA to some robustness problems***. *European Journal of Operational Research*, v. 174, n. 1, p. 322-332, 2006. ISSN 03772217.

[14] MARAKAS, G. M. ***Decision Support Systems in the 21st Century***. Pearson, p. 528, 1998.

[15] MATOS, Franco de. **A empresa júnior no Brasil e no mundo: o conceito, o funcionamento e as tendências do movimento EJ**. São Paulo: Martin Claret LTDA, 1997.

[16] MICHAELIS. **Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa**. 2021. Disponível em: https://michaelis.uol.com.br/palavra/0WNn/decis%C3%A3o/. Acesso em: 14 out. 2020.

[17] OLIVEIRA, F. C.; BERMÚDEZ, L. A.; MORAES, E. F. C. de. **Importância da Empresa Júnior para o desenvolvimento profissional dos universitários**. XIX Seminário Nacional de Parques Tecnológicos e Incubadoras de Empresas. Florianópolis, SC, 26 a 30 out. 2009.

[18] Oliveira, J. G. G. (1997). Uma ideia genial. In F. Matos (Ed.), **A Empresa júnior no Brasil e no Mundo: o conceito, o funcionamento, a história e as tendências do movimento Empresa Junior**. p. 9-11. São Paulo: Martin Claret, 1997.

[19] SAATY, T. L. **– Método de análise hierárquica**, São Paulo: Makron Books, 1991.

[20] SAATY, T. L.; VARGAS, L. G. ***How to make a decision***. [S.l.: s.n.]. v. 175. p. 1–21, 2012. ISSN 08848289. ISBN 0884-8289.

[21] SANTOS, R. **– Aplicação do método multicriterial PROMETEE para ampliação da disponibilidade hídrica na bacia do rio Gramame**, Associação brasileira de recursos hídricos, 2005.

[22] SANTOS, V. M. **Como estimar o tempo de uma tarefa do seu projeto?** 2018. Disponível em: https://www.fm2s.com.br/estimativa-tempo-gestao-de-projetos/. Acesso em: 05 ago. 2021.

[23] SEBRAE. **Empresa Júnior – o que é? E como funciona?** 2020. Disponível em: https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ufs/ap/artigos/empresa-junior-o-que-e-e-como-funciona,e3a048ae422fe510VgnVCM1000004c00210aRCRD. Acesso em: 17 jan. 2021. https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ufs/ap/artigos/empresa-junior-o-que-e-e-como-funciona,e3a048ae422fe510VgnVCM1000004c00210aRCRD acesso em 17/01/2021.

[24] SHIMIZU, T. **– Decisão nas organizações – Introdução aos problemas nas organizações e nos sistemas de apoio à decisão**. São Paulo: Atlas, 2001.

[25] VIEIRA, F. **– Um modelo multicritério para gerir conflitos na composição de aspectos**, Faculdade de ciências e tecnologia da universidade nova de Lisboa, 2006.

Capítulo 11

Experiência extensionista – construção de uma máquina dispensadora de confeitos de chocolates

Ricardo Luís Ciuccio
Thiago Andrade Silva
Rodrigo Bezerra do Nascimento
Edson Barberato
Keli Cristiane Vido

Resumo: Este artigo compreende um relato parcial da construção de uma máquina dispensadora de confetes de chocolates com jogos interativos direcionada à aprendizagem de programação de jovens de escolas públicas e privadas do ensino médio. Os cursos envolvidos na ação extensionista foram os Bacharelados em Engenharia de Computação e Engenharia de Produção da Instituição de Ensino SENAC. A atividade, por sua vez, foi delineada nas disciplinas - Projeto Integrador e Gestão da Inovação. Vale enfatizar que teve como objetivo também estreitar as relações entre a comunidade e a Instituição de Ensino Superior (IES) e desenvolver competências comportamentais e técnicas do alunado das engenharias. Os discentes do ensino médio de escolas públicas e privadas de São Paulo experienciaram o uso da máquina no evento chamado Geração SENAC. Destaca-se que a ação extensionista promoveu a melhoria do pensamento lógico, resolução de problemas, fluência verbal, escrita, trabalho em equipe e liderança. O planejamento e execução do projeto de construção da máquina dispensadora de chocolates valeu-se da aprendizagem por projeto disseminada pelas metodologias ativas de aprendizagem.

Palavras-chave: extensão, engenharia da computação, engenharia de produção, metodologias ativas, máquina dispenser de confeitos de chocolate.

1. INTRODUÇÃO

Este artigo compreende um relato parcial das atividades extensionistas de construção de uma máquina dispensadora de confetes de chocolate. Para tal, o alunado dos cursos de Bacharelados em Engenharia de Computação e Engenharia de Produção articularam conceitos e práticas técnicos, como por exemplo, lógica, programação, testes de materiais, processos fabris, trabalho em equipe, comunicação e liderança entre outros. O planejamento e fabricação desta máquina contou com o acionamento do dispositivo por meio de jogos lúdicos, no caso caça-palavras e roda da sorte. Todo projeto disponível em um Github teve como espaço temporal um (01) ano.

Destaca-se que a prototipagem da máquina foi realizada pelo alunado do curso de Bacharelado em Engenharia da Produção, ou seja, desenho técnico da máquina, estudo de materiais, construção da estrutura e testes de resistência / estresse. Já a parte elétrica e programação dos dois jogos para acionamento da máquina foram realizados pelos discentes do curso de Bacharelado em Engenharia da Computação.

As disciplinas que perpassaram o projeto foram à Projeto Integrador e Gestão da Inovação. Vale ressaltar, que a oportunidade de apresentação deste produto no evento Geração SENAC, um dos maiores até então realizado pelo SENAC, impulsionou melhorias e motivou o alunado. Evento este direcionado à discentes do ensino médio de escolas públicas e privadas de São Paulo.

Para realização do projeto nas disciplinas aludidas foi empregada à aprendizado por projeto preconizada pelas metodologias ativas que tem o aluno como protagonista no processo de ensino-aprendizagem. Práticas esta que a apropriação do conhecimento ultrapassa as fronteiras da sala de aula, sempre promovendo saberes para vida.

O projeto foi apresentado ao público geral em maio de 2025, junto a outras ações educativas de tecnologia como realidade virtual, robótica e inteligência artificial.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. AÇÃO EXTENSIONISTA E AS METODOLOGIAS ATIVAS

Ferlin, Pillar Jr. E Cunha (2012) discorrem que práticas de ensino-aprendizagem como a empregada na construção da máquina de confeitos de chocolate valem-se de conhecimentos multidisciplinares que promovem significativo engajamento do alunado. A ação de ensino-aprendizagem extraclasse motiva os discentes colocando-os como protagonistas do processo. Os autores ainda discorrem:

> Uma maneira de se conseguir, isto é, com a realização de trabalhos multidisciplinares, nos quais os trabalhos são elaborados por um grupo de professores, com o intuito de abranger ao máximo os conhecimentos das disciplinas envolvidas. Com isso, tem-se uma redução da quantidade de trabalhos, já que cada disciplina deixa de ter o seu trabalho isolado para ter um único trabalho multidisciplinar. Uma consequência disto é que elaboram-se trabalhos mais completos, possibilitando uma visão mais geral para os alunos, reduzindo a segmentação natural que ocorre com as disciplinas. Outro ponto a ser destacado é que a multidisciplinariedade faz com que haja uma coesão maior entre o corpo docente, pois os professores têm que conhecer o conteúdo abordado nas disciplinas para juntos definirem as atividades e aptidões que os alunos

> irão desenvolver neste trabalho multidisciplinar (Ferlin, Pillar Jr. e Cunha, 2012, s.p.).

Destaca-se que o Artigo 42 da Reforma Sucupira promulga, a extensão deve atuar para resolução de problemas da comunidade, aspecto este que converge com a missão do (a) engenheiro (a) de resolver problemáticas sociais (Jimenez, 2023). Segundo ainda Santana (2021) o Artigo 43 da Lei n.º 9.394/1996 prevê que a educação superior deve:

> (...) VII - promover a extensão, aberta à participação da população, visando à difusão das conquistas e benefícios resultantes da criação cultural e da pesquisa científica e tecnológica geradas na instituição".
>
> VIII - atuar em favor da universalização e do aprimoramento da educação básica, mediante a formação e a capacitação de profissionais, a realização de pesquisas pedagógicas e o desenvolvimento de atividades de extensão que aproximem os dois níveis escolares (Brasil, 1996, p. 1).

A Constituição Federal de 1988, por sua vez, no Artigo 214 destaca que a extensão deve atuar sobre desigualdades sociais e regionais por meio de vivências tecnológicas e culturais ancoradas em princípios científicos. Deste modo, está também deve promover o cumprimento das Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis promulgados pela Organização das Nações Unidas (2030). Outro ponto, é a criação de mecanismo que possibilitem o diálogo com a sociedade trazendo maior aproximação da Instituição de Ensino Superior com a comunidade.

Atuar sobre as vulnerabilidades da comunidade significa olhar de forma conceitual e prática para as possíveis problemáticas sociais e, portanto, delinear ações conceituais e técnicas. Aspecto importante na contemporaneidade e que preconiza capacitar o alunado para o futuro exercício laboral ético, autônomo e capaz de resolução de problemas.

Zabala (1998 apud De Paula, 2013) discorre que o êxito na formação profissional envolve assim, prepara o alunado para a tomada de decisões, proatividade e busca independente da aquisição de novos saberes. Neste contexto, o conhecimento conceitual impulsiona atitudes e procedimentos de pesquisa e extensão, autônomos.

Para Santana (2021) a conexão da extensão com os conhecimentos ministrados em aula promove o ímpeto essencial do alunado para a formação.

> A Extensão é uma via de mão dupla, com trânsito assegurado à comunidade acadêmica, que encontrará, na sociedade, a oportunidade de elaboração da práxis de um conhecimento acadêmico. No retorno à Universidade, docentes e discentes trarão um aprendizado que, submetido à reflexão teórica, será acrescido àquele conhecimento. Esse fluxo, que estabelece a troca de saberes sistematizados, acadêmico e popular, terá como consequências a produção do conhecimento resultante do confronto com a realidade brasileira e regional, a democratização do conhecimento acadêmico e a participação efetiva da comunidade na educação da universidade (Forproext, 2006, p. 21).

Neste contexto, o uso das metodologias ativas converge com as práticas extensionistas, haja vista, que ambos demandam o discente como protagonista. Além disso, conceitos e práticas como os abordados nas Engenharias, necessitam de um ensino-aprendizagem

contemporâneo, que o professor tenha um papel de mediador e não detentor do saber. O discente nas metodologias ativas, não somente recebe os conhecimentos, mas é motivado a apropriá-lo de forma corresponsável e significativa.

Para Berbel (2011) vivências, simulações e desafios são relevantes ao pensarmos nas metodologias ativas. Kane (2004) corrobora com as alusões e destaca que são especificidades das metodologias ativas motivar a criticidade e autonomia do discente em seu pensamento; incentivar o alunado à corresponsabilidade no processo de ensino-aprendizagem; criar atmosferas de apropriação do saber com o aluno como protagonista e o docente como facilitador do ensino-aprendizagem e articulador da organização de atividades. Aspectos também relevantes para mobilização de saberes na ação extensionista.

São práticas para apropriação do conhecimento por meio das metodologias ativas, ensino híbrido, sala de aula invertida, gamificação, aprendizagem baseada em problemas, aprendizagem entre pares e aprendizagem baseada em projetos, aqui utilizada.

A aprendizagem baseada em projetos (ABP) desenvolve a apropriação do conhecimento com o aluno como protagonista, o instigando a resolução de problemas, delineando e avaliando seu processo de ensino-aprendizagem por meio de projetos (Duarte; Brod, 2017).

Deste modo, foi proposto ao alunado criar algo que promovesse a apropriação de conhecimentos por discentes do ensino médio, que perpassassem pelas engenharias, de maneira lúdica.

Vale enfatizar que para cumprimento do objetivo destacado de aprendizagem sugeriu-se concomitante ao alunado que criasse mecanismos de aproximação da comunidade. Conglomerado articulado pela ação extensionista.

Como corrobora De Paula (2013), a ação extensionista mobiliza os saberes produzidos pela universidade em prol da resolução de entraves sociais de maneira sustentável, ética e com olhares interdisciplinar e transdisciplinar. Espaço este que cria diálogos entre a universidade-aluno-comunidade. Como Silva *et al.* (2023, p.22) explica:

> Na intervenção dos projetos de extensão o discente tem a oportunidade de adquirir conhecimento para sua futura atuação profissional, e nesse processo é possível colocar em prática o aprendizado em prol da sociedade. Para os estudantes, os projetos voltados a temática social são de extrema importância para o seu desenvolvimento profissional, mas também como ser humano, contribuindo no desenvolvimento da sociedade. A extensão se configura como uma via de mão dupla aonde o estudante dentro da realidade social, traz para o meio Universitário a aprendizagem e experiencia vinculada ao processo de novas competências e habilidades com a realidade in loco e propicia a integração entre a academia e a sociedade.

Em suma, o uso da aprendizagem por projetos empregado pelas metodologias ativas possibilitou a ação extensionista, ou seja, o planejamento, criação e apresentação aos discentes do ensino-médio de escolas públicas e privadas a máquina dispensadora de confetes de chocolates para os estimular à aprendizagem de programação, lógica e resolução de problemas, além de competências comportamentais.

3. ATIVIDADES E DESENVOLVIMENTO

3.1. PROJETO MÁQUINA DISPENSADORA DE CHOCOLATES

O projeto da máquina dispensadora de confeitos de chocolates foi desenvolvido diante do desafio de criação de um produto a ser planejado e implementado em conjunto pelos alunos das engenharias de Bacharelado em Computação e Bacharelado em Produção. Este preconizou o estímulo de discentes do ensino médio de escolas públicas e privadas e a busca de conhecimentos de programação, lógica e resolução de problemas.

Registre-se que o projeto foi desenvolvido nas disciplinas Projeto Integrador e Gestão da Inovação de ambos os cursos.

Para que a construção da máquina dispensadora de confetes de chocolates fosse concretizada houve um planejamento e esboço via Solidworks. Além disso, a estrutura e equipamentos foram projetados para que visualmente fossem agradáveis, de fácil manejo e limpeza, funcionais e principalmente, dado a possibilidade de contato com alimentos.

Essa máquina contou com materiais como, alumínio para a estrutura, filamento de PLA (Poliácido Láctico) para as peças de armazenamento e mecanismo de distribuição, além de placas de acrílico para visores e canaletas de caída.

Para a confecção da estrutura, foram utilizados perfis de alumínio, de 30mmX30mm, que oferecem uma estrutura robusta e leve ao mesmo tempo, para esse processo os perfis foram cortados em uma serra elétrica de fita horizontal, onde possibilitou que cada peça fosse ajustada conforme o projeto já definido, e a fixação dessas peças contou com cantoneiras de alumínio e parafusos de aço.

Já os equipamentos que compõe o mecanismo de distribuição e as peças de armazenamento, foram desenhados e projetados em Solidworks, que posteriormente ganharam forma via impressão 3D, concretizados com filamento de PLA (Poliácido Láctico), próprio para o ramo alimentício, juntamente com as placas de acrílico, de 4mm e 6mm, que foram cortadas em uma máquina de corte e gravação a laser. Com todas as placas cortadas foi possível colar e fixar, com parafusos e cola apropriada de acrílico, dando forma para as canaletas de caída, o painel de instrumentos e os visores informativos.

Por último, fixou-se uma placa de acrílico com a nomenclatura Engenharias SENAC e um QrCode com o Github do projeto para posterior replicação dos interessados.

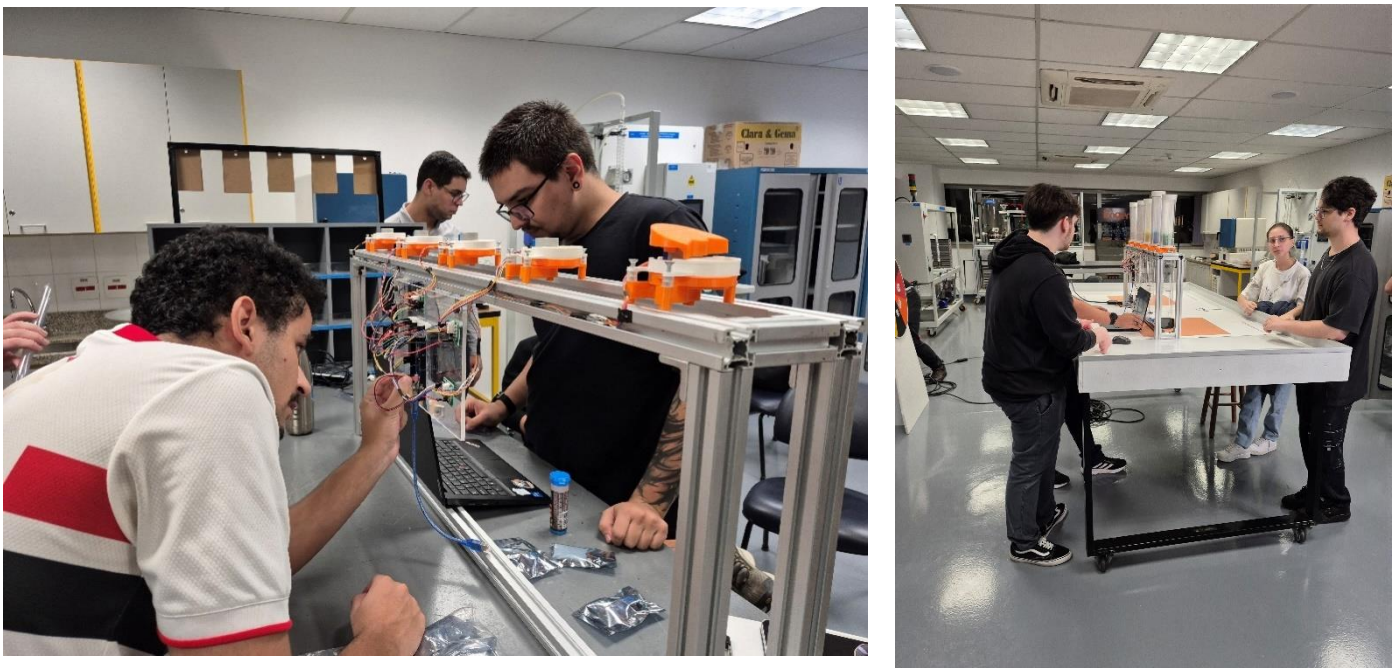
Quanto ao sistema automatizado para distribuição de confetes de chocolates utilizou à plataforma Arduino para controle de hardware e Python para a interface interativa com o usuário. Registre-se que um dos objetivos foi também oferecer uma experiência lúdica e educativa, combinando entretenimento com conceitos de automação, eletrônica e programação.

Assim sendo, a máquina contém dois jogos o primeiro de palavras cruzadas que o usuário tem como missão localizar em uma grade horizontal e vertical com letras aleatórias, as cores de todos os confetes de chocolates: azul, amarelo, vermelho, verde e laranja. Nesse sentido, ao localizar todas as palavras ocultas, ou seja, com todas as cores de chocolates é dispensado pelos mecanismos automatizados doces para os usuários. O segundo jogo compreende uma roleta da sorte, que o usuário aciona virtualmente e pode gerar números de 01 a 20. Acima do número seis são dispensados confetes de chocolates. Registre-se que no evento os usuários podiam escolher entre um jogo e outro, além disso, por questões sanitárias os chocolates dispensados eram descartados e os usuários com êxito recebiam

pacotes fechados de confetes de chocolates. A comunicação com Arduino é feita via porta serial.

O sistema foi programado para: a) interagir com os usuários por meio de dois jogos (caça palavras e roleta) desenvolvidos em Python; b) calcular a quantidade de confetes de chocolates a serem distribuídos com base no desempenho nos jogos e c) controlar por meio de um Arduino, cinco motores responsáveis pela liberação individual de confetes de cores diferentes conforme ilustra a Figura 1.

Figura 1 e 2 Construção da máquina dispensadora de confetes de chocolates



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Para construção da máquina dispensadora de confetes de chocolates utilizou-se:

- 1x Arduino UNO
- 5x motores de passo
- 5x compartimentos para M&Ms (um para cada cor)
- Jumpers e protoboard
- Fonte de alimentação 5V
- Drivers para controlar o motor
- Estrutura em acrílico e em 3D

Software

- Python 3.10
- Bibliotecas Python: tkinter, random, serial (para comunicação com o Arduino);
- Arduino IDE;

- Bibliotecas Arduino: Servo.h (ou Stepper.h, dependendo dos motores);

O Python envia para o Arduino uma string contendo a quantidade total de confetes de chocolates a serem distribuídos. O Arduino se encarrega de distribuir a quantidade de confetes de chocolates, acionando os motores de forma sequencial (um motor por cor).

Exemplo de string enviada: "Distribuir:10\n"

Sendo assim, o Arduino interpreta esse valor e executa a distribuição, alternando entre os motores até atingir a quantidade especificada.

No caso de controle de hardware (Arduino), este recebe o comando, realiza a distribuição de confete de chocolates acionando os motores um a um em sequência.

Cada motor representa uma cor de confetes de chocolates e libera apenas uma unidade por vez. O ciclo continua até completar a quantidade solicitada.

O fluxo geral do sistema deste modo segue os seguintes passos:

1. Usuário joga as partidas em Python.
2. Python calcula e envia o total de confetes de chocolate via serial.
3. Arduino interpreta o comando.
4. Arduino ativa os motores, distribuindo os confetes de chocolates.

Foram realizados testes com diferentes pontuações para verificar a correta distribuição pela máquina.

Testou-se a sequência dos motores alternando as diferentes cores, validando o processo com êxito.

A resposta do sistema ao comando serial também foi satisfatória, com atraso mínimo.

Os testes de estresse da máquina destacaram um possível problema de aquecimento das válvulas dispensadoras dos confetes de chocolates.

4. RESULTADOS E IMPACTOS

4.1. EVENTO GERAÇÃO SENAC

O evento Geração SENAC, ocorreu nos dias na Bienal do Ibirapuera de São Paulo e contou com ideias enviadas por todos cursos e unidades X de São Paulo e interior.

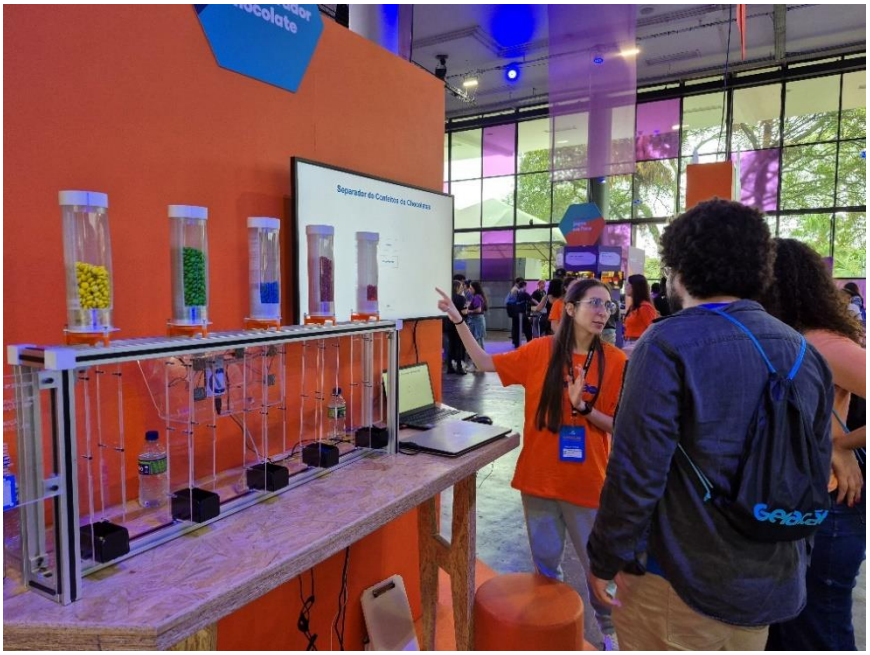
As ideias enviadas para exposição passaram por uma curadoria, que elencou a Máquina dispensadora de confetes de chocolates.

O evento aludido foi um dos maiores eventos até então realizado pela Instituição de Ensino e contou como público alunos do ensino médio de escolas públicas e privadas.

A Máquina dispensadora de confetes de chocolates ficou alocada na Arena chamada como Deu Curto (nosso grifo), área de tecnologia. Esta teve projetos como montagem de carrinho de linha robô, realidade virtual, pintura com inteligência virtual, entre outros.

O estande contou com o alunado dos cursos de Bacharelados em Engenharia de Computação e Engenharia de Produção, nos dois dias.

Figuras 3 e 4 Equipe do evento e Evento Geração SENAC



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ação extensionista aludida por meio de metodologias ativas de aprendizagem promoveu o desenvolvimento conceitual e técnico do alunado. O atendimento da comunidade perpassou pelas ODSs 04 – Educação de Qualidade, 08 Trabalho decente e crescimento econômico e 09 Indústria, inovação e infraestrutura, haja vista que, desenvolveu atividades para apropriação do saber do alunado envolvido, tal qual para os discentes do ensino médio de escolas públicas e privadas que visitaram o estande Deu Curto do SENAC (nosso grifo).

A máquina dispensadora de confetes de chocolates mobilizou saberes conceituais e práticos das Engenharias como planejamento, implementação e execução do projeto com estruturas metálicas e peças confeccionadas na impressora a laser e na máquina de corte 3D laser. Além disso, foram mobilizados conhecimentos no uso de hardware e software.

A aprendizagem por projeto promovida pelo uso das metodologias ativas contribuiu para o alunado ser protagonista no processo de ensino-aprendizagem, o motivando e o despertando para busca de soluções de problemas e desenvolvendo competências comportamentais e técnicas.

Registre-se que a ação extensionista compreende um espaço de interação entre a instituição de ensino superior e comunidade, perfaz um movimento dialógico transformador da realidade.

Repensar realidades por meio de conhecimentos conceituais e práticos promove o delineamento profissional de engenheiros ancorados em prismas sustentáveis, éticos e corresponsáveis junto a sociedade.

REFERÊNCIAS

[1] BRASIL. Constituição Feral. Disponível em: www.planalto.gov.br. Acesso em 25 de Jun. 25.

[2] BRASIL. ONU - Organização das Nações Unidas do Brasil. Acesso em: https://brasil.un.org/pt-br. Acesso em 24 Jun. 2025.

[3] DE PAULA, João Antônio. A extensão universitária: história, conceito e propostas. **Interfaces-Revista de Extensão da UFMG**, v. 1, n. 1, p. 5-23, 2013.

[4] DUARTE, Valeska Matos, BROD, Fernando Augusto Treptow. Aprendizagem Baseada em Projetos: uma possibilidade de trabalho colaborativo apoiado pelo Ambiente Virtual de Aprendizagem Minha Escola Virtual. In VII Congresso Internacional de Educação. Educação humanizadora: valorizando a vida na sociedade contemporânea. Santa Maria: Editora FAPAS, p. 1-14, 2017

[5] FERLIN, Edson P.; PILLA JR, Valfredo; CUNHA, José Carlos. A multidisciplinariedade aplicada no ensino no curso de Engenharia da Computação. In: **XXXII Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia-COBENGE 2004**. 2004.

[6] JIMENEZ, Michele de Oliveira et al . A extensão e a universidade brasileira: do estatuto das universidades até a curricularização da extensão. **Educ. Teoria Prática**, Rio Claro , v. 33, n. 66, e1, 2023 . Disponível em <http://educa.fcc.org.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1981-81062023000100100&lng=pt&nrm=iso>. acessos em 26 jun. 2025. Epub 31-Dez-2023. https://doi.org/10.18675/1981-8106.v33.n.66.s15304.

[7] SANTANA, Regis Rodrigues et al. Extensão universitária como prática educativa na promoção da saúde. **Educação & Realidade**, v. 46, p. e98702, 2021.

[8] SILVA, Ana Lúcia de Brito et al. **Importância da extensão universitária na formação profissional: Projeto Canudos.** Rev enferm UFPE on line. 2019;13:e242189 DOI: 10.5205/1981-8963.2019.242189 https://periodicos.ufpe.br/rev. Disponivel em : acesso em 06 de Dezembro de 2023.

Capítulo 12

Tecnologias para ouvir e comunicar: acesso, cultura e direitos de surdos e deficientes auditivos

Gustavo Simas da Silva
Daniel Cordova Rosa
Lidiane Helena Reinaldo Franco
Fabrício Mähler Ramos
Vania Ribas Ulbricht

Resumo: Neste artigo temos uma análise integrativa e comparativa que aborda as tecnologias assistivas na promoção da acessibilidade e inclusão de pessoas surdas e com deficiência auditiva, a partir da distinção entre os modelos médico e sociocultural. As publicações analisadas apresentaram questões voltadas à Cultura Surda e o uso da língua de sinais dentro da comunidade Surda, e o modelo sociocultural, que compreende a surdez como identidade linguístico-cultural ancorada nas línguas de sinais, no Brasil aprovada como a Libras. No tocante ao nível de grau de perda auditiva, enquanto patologia passível de reabilitação, temos uma análise e a apresentação detalhada de recursos tecnológicos — como aparelhos auditivos, implantes cocleares, legenda, *closed caption*, aplicativos de transcrição e o profissional Tradutor Intérprete de Libras que atua em diversas áreas, sendo de forma individual, em grupos pequenos e ou de forma coletiva, bem como por meio da janela de Libras. Os artigos perpassam conteúdos críticos e abrangentes, a partir de revisão integrativa de literatura nas bases *Scopus* e *Web of Science*, mapeiam-se estudos empíricos e teóricos sobre dispositivos auditivos digitais, implantes cocleares, sistemas de escuta assistida, soluções visuais/textuais foram analisadas (*apps* de transcrição, tradução automática de sinais, legendagem) e recursos de alerta vibro-luminoso. No tocante às inovações, destacam-se aparelhos auditivos equipados com Inteligência Artificial - IA e conectividade *Bluetooth*, implantes cocleares multicanais com feixes eletrodos atraumáticos e padrões digitais como o Roger para ambientes ruidosos. O estudo também discute os desafios éticos, culturais e econômicos, destacando a importância do respeito à diversidade linguística e dos direitos da comunidade surda. Foi mencionado tendências emergentes, que incluem interfaces cérebro-computador, terapias gênicas (como mutações OTOF) e algoritmos de visão computacional capazes de reconhecer Libras em tempo real. Discutem-se benefícios (melhorias na compreensão da fala, acesso a conteúdos midiáticos, inclusão educacional) e desafios persistentes: custos, barreiras de distribuição, tensões culturais sobre intervenções “normalizadoras” e a necessidade de políticas públicas que garantam bilinguismo e desenho universal.

Palavras-chave: Tecnologias assistivas, Surdos, Deficiência auditiva, Língua de Sinais.

1. INTRODUÇÃO

A experiência humana da audição e sua ausência ou diminuição abarcam uma complexidade que vai além da fisiologia. A deficiência auditiva e a surdez representam um espectro que envolve não apenas a capacidade biológica de perceber sons, mas também dimensões sociais, culturais e linguísticas (Correia, 2016). Compreender este fenômeno exige uma abordagem que reconheça tanto a perda auditiva, diagnosticada e classificada clinicamente, quanto a surdez, entendida como uma identidade cultural e linguística por aqueles que a vivenciam como parte de uma comunidade (Nóbrega et al., 2012).

Para uma compreensão matizada, podemos adotar duas lentes principais: o modelo médico (ou orgânico-biológico) e o modelo sociocultural (ou socioantropológico) (Soleman & Bousquat, 2021). O modelo médico aborda a deficiência auditiva como uma patologia, uma condição a ser diagnosticada, medida (em termos de grau e tipo de perda) e, idealmente, tratada ou reabilitada por meio de intervenções clínicas e tecnológicas. Seu foco reside na função auditiva e nas formas de restaurá-la ou compensá-la (Gesueli, 2006).

Em contraste, o modelo sociocultural compreende a surdez não primariamente como uma deficiência, mas como uma diferença humana, associada a uma identidade cultural distinta, tendo uma maneira de comunicação própria por meio das línguas de sinais e uma comunidade com história e valores compartilhados. Esta perspectiva valoriza a experiência visual e a comunicação sinalizada, questionando frequentemente a ênfase na "normalização" auditiva.

As autoras Soleman, C., & Bousquat, A. (2021) em seu artigo, “Políticas de saúde e concepções de surdez e deficiência auditiva no SUS: um monólogo?”. Pontuam como necessário uma análise equilibrada entre as duas perspectivas, compreendendo um exame do impacto social e individual dessas tecnologias na inclusão, comunicação, educação e qualidade de vida. Busca-se traçar o desenvolvimento histórico das tecnologias assistivas, com tecnologias contemporâneas, especialmente as digitais e eletrônicas, detalhadas, incluindo aparelhos auditivos, implantes cocleares, sistemas de escuta assistida e ferramentas de comunicação visual/textual.

As tendências futuras, impulsionadas por inovações como a Inteligência Artificial e interfaces cérebro-computador, são exploradas e analisadas no impacto social e individual dessas tecnologias, considerando os benefícios, desafios e as tensões inerentes às diferentes perspectivas sobre a surdez.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A perspectiva sociocultural frequentemente contesta a visão puramente médica que patologiza a surdez, as visões foram bem trabalhadas no artigo de (Nóbrega et al., 2012) - “ Identidade surda e intervenções em saúde na perspectiva de uma comunidade usuária de língua de sinais”, onde as análises comparativas foram de relevância e observou-se a ênfase na oralização em detrimento do bilinguismo (Libras e Português escrito) é também um ponto de tensão histórica (de Azevedo, de Aquino & da Hora, 2021).

No que tange à experiência visual e linguística, a própria língua visual-espacial carrega especificidades em relação às formas de pensamento, que são entrelaçadas por uma percepção visual de mundo. A Língua de Sinais representa muito mais do que um recurso de comunicação para as pessoas surdas: ela é um marcador identitário, cultural e político.

Segundo Ronice Quadros e Lodenir Karnopp, a Libras (Língua Brasileira de Sinais) constitui um sistema linguístico completo, com estrutura gramatical própria e reconhecimento legal no Brasil desde 2002. A valorização da Libras como primeira língua de muitos surdos está diretamente ligada ao direito à educação bilíngue e ao respeito à diversidade linguística.

Dentro dessa perspectiva, compreender e promover o uso da Língua de Sinais é fundamental para garantir a inclusão plena da comunidade surda, preservando sua cultura e fortalecendo sua autonomia comunicacional. Intervenções como o implante coclear, especialmente quando realizadas em crianças sem o seu consentimento informado ou sem a devida consideração pela aquisição da Libras, podem ser vistas por membros da comunidade Surda como uma forma de audismo (discriminação contra surdos) e uma ameaça à diversidade linguística e cultural. Além disso, o conceito de "ouvintismo" conforme definido por Carlos Skliar, descreve a tendência social em que os ouvintes impõem suas representações sobre os surdos, forçando-os a se perceber e se expressar como se fossem ouvintes (Skliar & Quadros, 2000). Portanto, a perspectiva sociocultural desloca o enfoque do déficit auditivo individual para a riqueza da experiência coletiva, da linguagem e da cultura Surda, reivindicando o reconhecimento da surdez como uma diferença a ser respeitada e valorizada, e não como uma condição a ser eliminada. Isto fundamenta a luta por direitos linguísticos, educação bilíngue e acessibilidade comunicacional plena. Os conjuntos de tecnologias visuais e textuais auxiliam para inclusão de pessoas com deficiência auditiva e ou surdas, abordando uma gama mais ampla de necessidades de comunicação e interação com o ambiente, e aproveitando intensamente as capacidades dos dispositivos móveis e da Inteligência Artificial IA.

Vamos mencionar o implante coclear, é uma tecnologia assistiva amplamente debatida quando se trata da reabilitação auditiva de pessoas com perda auditiva severa ou profunda. Conforme discutido por Patrícia Resende em sua obra, essa intervenção médica, embora ofereça possibilidades de acesso ao som, também suscita questões éticas, culturais e identitárias, especialmente no que tange à comunidade surda sinalizante. A autora aponta que o implante coclear não deve ser visto como uma "cura" da surdez, mas sim como uma ferramenta tecnológica que precisa ser acompanhada de um olhar crítico e contextualizado. É essencial considerar a singularidade de cada sujeito e respeitar sua escolha, bem como garantir que o acesso à informação e à comunicação não se limite ao mundo oralizado, mas contemple também o direito à Libras e à cultura surda.

A Lei Brasileira de Inclusão (LBI) foi aprovada em 2015 - Lei nº 13.146. Também conhecida como Estatuto da Pessoa com Deficiência, não menciona diretamente as especificidades do implante coclear, mas garante os direitos de acesso à informação, educação e reabilitação para pessoas com deficiência auditiva, o que inclui os usuários implantados. Porém a lei assegura que pessoas com deficiência têm direito à educação em um sistema inclusivo, o que implica em adaptações e preparo das escolas para receber alunos com implantes cocleares e outras tecnologias assistivas, garantindo o acesso ao currículo e à comunicação.

Figura 1 - Abordagens de intervenção para perda auditiva

Fonte: dos autores (2025).

2.1. VISÃO MÉDICA OU ORGÂNICO-BIOLÓGICA DA DEFICIÊNCIA AUDITIVA

A terminologia utilizada para descrever a perda auditiva e a experiência da surdez carrega consigo diferentes pressupostos e implicações, refletindo as perspectivas médica e sociocultural. Do ponto de vista clínico ou médico, a deficiência auditiva (ou perda auditiva) é definida como uma redução na capacidade de perceber sons. No Brasil, para fins legais e de políticas públicas, frequentemente se adota a definição de perda auditiva bilateral, parcial ou total, de 41 decibéis (dB) ou mais, aferida por audiograma. Contudo, classificações internacionais, como a da Organização Mundial da Saúde - OMS, podem considerar perdas a partir de limiares mais baixos, como 20 dB NA (Nível de Audição).

Na perspectiva antropológica, ser surdo ou deficiente auditivo não é só uma questão de quantos decibéis a pessoa deixa de ouvir, mas também de identidade e cultura. Quando ocorre a perda auditiva, temos o grau da dificuldade de ouvir, mas a comunidade surda vê a surdez como uma forma de vida, ligada à língua de sinais e a uma cultura própria.

A terminologia deficiente auditiva vê os decibéis como importante, para entender o aspecto físico da perda, mas a antropologia mostra que a surdez também é sobre pertencimento, comunicação e respeito às diferenças culturais. Vale ressaltar que, para âmbito esportivo há a exigência de perda auditiva igual ou superior a 55 decibéis (dB) para participação em esportes de surdos é uma regra oficial reconhecida internacionalmente, definida pelo Comitê Internacional de Esportes para Surdos (ICSD - International Committee of Sports for the Deaf), que organiza as Surdolimpíadas e regula todas as competições internacionais da categoria. A Confederação Brasileira de Desportos de Surdos (CBDS) segue as regras do ICSD e exige a apresentação de exame audiométrico para comprovar a perda auditiva mínima de 55 dB no melhor ouvido.

A perspectiva médica, para atender a perda dos decibéis, orienta a indicação de intervenções como aparelhos de amplificação sonora individual (AASI) ou implantes

cocleares (IC) (Magrini & Garcia, 2024), visando a reabilitação da função auditiva e a integração do indivíduo na sociedade predominantemente ouvinte.

2.2. VISÃO SOCIOCULTURAL OU SOCIOANTROPOLÓGICA DA SURDEZ

Em contraste com o modelo médico, a concepção socioantropológica da surdez entende como uma diferença cultural, não como uma deficiência ou falta, mas como uma característica identitária e a base para a participação em uma comunidade linguística e cultural minoritária (Abreu, 2020). A pessoa surda, nesta visão, é aquela que, devido à sua condição auditiva, interage e compreende o mundo primordialmente através de experiências visuais. A surdez é vista como um modo de ser, uma diferença que molda a percepção e a interação social, e não necessariamente uma condição a ser "curada" ou "corrigida" (Nóbrega et al., 2012). A comunidade Surda é definida pela partilha de uma língua (a língua de sinais), uma história, valores, tradições e estratégias sociais próprias.

Perlin e Miranda (2003, p. 218) afirmam: “Se vocês nos perguntarem aqui: o que é ser surdo? Temos uma resposta: ser surdo é uma questão de vida. Não se trata de uma deficiência, mas de uma experiência visual. Experiência visual significa a utilização da visão (em substituição total a audição), como meio de comunicação. Desta experiência visual surge a cultura surda representada pela língua de sinais, pelo modo diferente de ser, de se expressar, de conhecer o mundo, de entrar nas artes, no conhecimento científico e acadêmico. A cultura surda comporta a língua de sinais, a necessidade do intérprete, de tecnologia de leitura.

A Língua Brasileira de Sinais (Libras) é o pilar da comunicação para os Surdos no Brasil. Reconhecida legalmente em 2002 pela Lei Nº 10.436 como meio de comunicação e expressão, a Libras é uma língua completa, com estrutura gramatical própria, de modalidade visual-gestual (Bigogno, 2023).

Para dar respaldo aos profissionais que atuam com Libras, temos a Lei nº 14.704 de 25 de outubro de 2023, que altera a Lei nº 12.319, de 1º de setembro de 2010, para dispor sobre o exercício profissional e as condições de trabalho do profissional, tradutor, intérprete e guia-intérprete da Língua Brasileira de Sinais (Libras). Deste modo, entende-se, por meio da Libras, que a cultura Surda se manifesta, se transmite e se desenvolve, permitindo aos Surdos constituírem sua subjetividade e relações sociais como "falantes", a cultura Surda inclui não apenas a língua, mas também expressões artísticas (poesia, teatro em Libras), normas sociais (como a importância do contato visual e das expressões faciais na comunicação), e o uso de tecnologias visuais e táteis como mecanismos compensatórios (alarmes vibratórios, mensagens de texto) (Macedo, 2021).

Segundo Karnopp (2011, p.46), “a língua de sinais significada, enquanto marca surda dentro da literatura, é capaz de desenvolver os processos de subjetivação. Tais processos são responsáveis por desencadear elementos necessários para construção da identidade surda e, na medida em que utilizam sua própria língua, significam as aprendizagens se vivencia no contato com a comunidade surda. Isso favorece a troca de conhecimentos e informações, e deve ser valorizado e reconhecido como uma forma de expressão cultural e um instrumento de acesso à educação e da igualdade de oportunidades para o povo surdo”

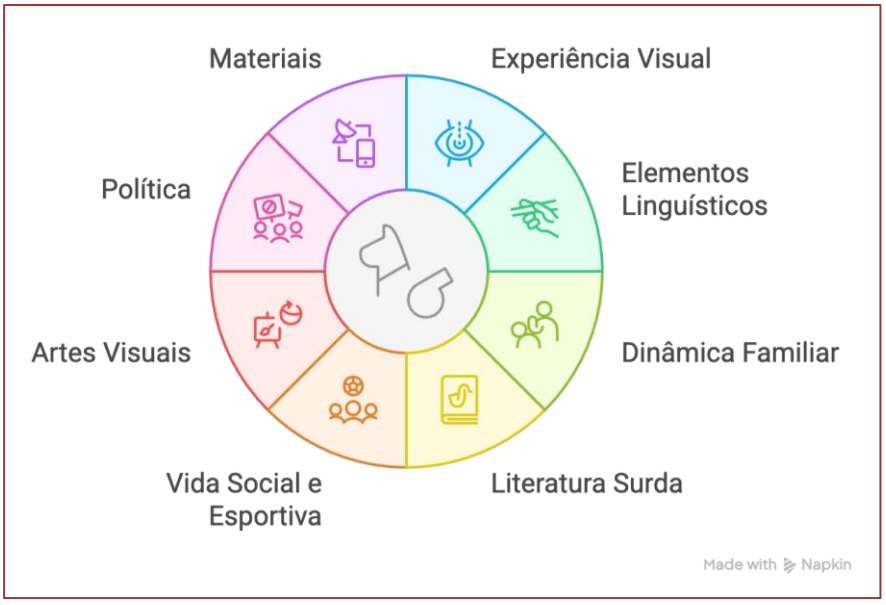
Estudos buscam conhecer mais sobre a utilização ampla e diversificada das línguas de sinais, em várias partes do mundo, sendo em países diversos, bem como em comunidades isoladas, comunidades quilombolas, ribeirinhas e ciganas. Neste contexto encontram-se

as variações linguísticas. Várias histórias são contadas no mundo, em língua de sinais. A língua e as experiências visuais dão forma ao pensamento dos surdos, não sendo igual à metodologia ouvintista. É importante também reconhecer que a identidade Surda não é monolítica. Existem múltiplas formas de vivenciar a surdez e de se relacionar com as comunidades Surda e ouvinte (Carvalho, Regina & Campello, 2022).

As categorias identitárias propostas por estudiosos da área (como as identidades políticas/Surdas, híbridas, embaçadas, flutuantes, de transição, de diáspora e intermediárias) refletem essa complexidade, influenciada por fatores como o momento da perda auditiva, o tipo de educação recebida, o contato com a Libras e a cultura Surda, e as escolhas individuais de comunicação e pertencimento.

Há pesquisadores da área de Estudos Surdos, que apresentam resultados relevantes sobre as experiências visuais dos surdos referente ao mundo e esta seria uma marca constitutiva de suas identidades. Segundo Karin Ströbel, a Cultura Surda é definida por oito artefatos culturais: experiência visual, elementos linguísticos, dinâmica familiar, literatura surda, vida social e esportiva, artes visuais, política e materiais (Perlin & Strobel, 2014).

Figura 2 - Componentes da Cultura Surda



Fonte: dos autores (2025).

As identidades surdas são construídas na cultura, observa-se que os surdos, em sua maioria, começam a constituir suas identidades na escola, pois grande parte tem pais ouvintes e, em casa, tem pouco contato com a cultura surda, diminuindo a oportunidade do aprendizado da Libras, há também com pais ouvintes, que aprendem a Libras e a utilizam como segunda língua.

Para autores que defendem questões de vivência e convivência em comunidades, grupos e espaços comuns, são fundamentais para a construção das identidades surdas, pois nelas as pessoas têm a possibilidade de estabelecerem sua pertença, se compreendem como coletividade e também compartilham experiências, práticas e conhecimentos em geral. São vistos dentro do contexto familiar, social, educacional, esportivo, religioso e outros

locais, a presença de pessoas surdas modifica as dinâmicas, os surdos utilizam dos recursos visuais e formas próprias de se relacionar, de construir regras de caráter e qualidade, levando-os a um processo de diferentes relações dialógicas, sendo distinto das experiências vivenciadas por ouvintes.

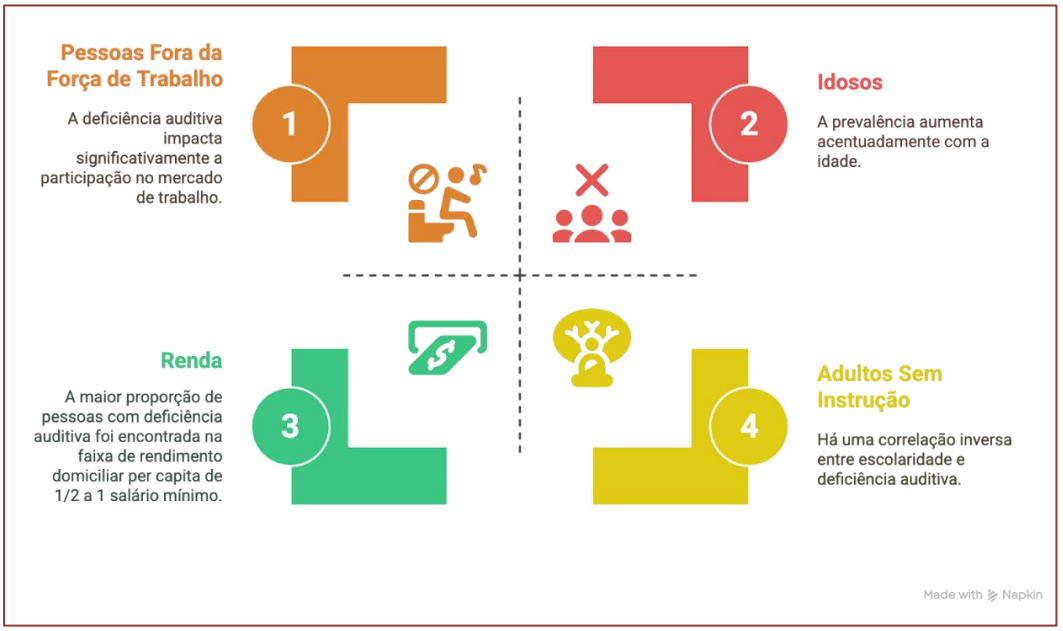
A literatura surda e as artes visuais se consolidam cada vez mais, explorando o papel do surdo como agente de transformação social e cultural, não tendo a inclusão do som como um pré-requisito para a participação ativa no mundo.

O artefato político engloba a luta da Comunidade Surda, em busca de uma participação efetiva enquanto minoria, frente às desigualdades enfrentadas. Quanto aos materiais, se referem às tecnologias que integram a vida das pessoas surdas, que promovem não apenas a comunicação, mas também a interação com o mundo por meio de sinais luminosos e sinestésicos, em vez de sonoros.

2.3. PANORAMA NACIONAL E GLOBAL SOBRE DEFICIÊNCIA AUDITIVA

A Organização Mundial da Saúde (OMS) e sua regional para as Américas, a Organização Pan-Americana da Saúde (OPAS), fornecem dados alarmantes sobre a prevalência global da perda auditiva. Estimativas recentes indicam que mais de 1,5 bilhão de pessoas em todo o mundo vivem com algum grau de perda auditiva. Deste vasto número, calcula-se que 430 milhões possuam uma perda auditiva considerada incapacitante (moderada ou superior no melhor ouvido). Na Região das Américas, a situação também é preocupante. Cerca de 217 milhões de pessoas (aproximadamente 21,52% da população regional) convivem com perda auditiva.

Figura 3 - Panorama da deficiência auditiva no Brasil, de acordo com dados da PNS 2019



Fonte: dos autores (2025).

As projeções futuras são ainda mais inquietantes: a OMS estima que, até 2050, quase 2,5 bilhões de pessoas no mundo poderão ter algum grau de perda auditiva, e pelo menos 700 milhões necessitarão de serviços de reabilitação auditiva. Para as Américas, a projeção para 2050 aponta para um possível aumento para 322 milhões de pessoas com perda auditiva.

Estes números globais e regionais sublinham a perda auditiva como uma questão de saúde pública de enorme escala e com tendência crescente. Fatores como o envelhecimento da população global, exposição a ruído, infecções e uso de medicamentos ototóxicos contribuem para essa tendência. A magnitude do problema exige investimentos significativos e urgentes em estratégias de prevenção, identificação precoce e acesso a cuidados e tecnologias auditivas em todo o mundo. No Brasil, a principal fonte de dados populacionais sobre deficiência é o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), através de pesquisas como o Censo Demográfico e pesquisas amostrais como a Pesquisa Nacional de Saúde (PNS) e a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD).

A Pesquisa Nacional de Saúde (PNS) de 2019 oferece os dados mais recentes e detalhados sobre a prevalência da deficiência auditiva auto-reportada no país. Segundo a PNS 2019, 2,3 milhões de brasileiros com 2 anos ou mais de idade declararam ter deficiência auditiva, definida na pesquisa como ter "muita dificuldade" ou "não conseguir de modo algum" ouvir, mesmo com o uso de aparelho auditivo. Isso correspondia a 1,1% da população nessa faixa etária. A análise sociodemográfica da PNS 2019 revela padrões importantes, conforme a Tabela A disponível no Apêndice.

É importante notar que outras estimativas, frequentemente citadas na mídia ou em contextos de *advocacy*, mencionam números mais elevados, como "mais de 10 milhões de pessoas surdas ou com deficiência auditiva no Brasil". Essa discrepância provavelmente se deve a diferenças nas definições utilizadas.

A PNS 2019 focou na autodeclaração de dificuldade severa ("muita dificuldade" ou "não consegue de modo algum"), capturando um conceito mais próximo da incapacidade funcional percebida. Estimativas mais amplas podem incluir graus mais leves de perda auditiva, identificados por critérios audiométricos, que não necessariamente resultam em uma autoidentificação como pessoa com deficiência auditiva severa.

Dados do Ministério da Saúde, embora não forneçam estimativas de prevalência populacional tão diretas quanto o IBGE, complementam o panorama, informando sobre a estrutura de serviços e políticas, como a Política Nacional de Atenção à Saúde Auditiva e dados sobre procedimentos realizados no SUS.

Assim, embora a prevalência de deficiência auditiva severa autoreportada seja de 1,1%, ela afeta desproporcionalmente grupos específicos (idosos, pessoas com menor escolaridade e renda) e impõe barreiras significativas à participação econômica e social.

2.4. A EVOLUÇÃO DAS TECNOLOGIAS ASSISTIVAS

As primeiras tentativas de auxiliar a audição eram puramente mecânicas. As cornetas acústicas ou trombetas auriculares, usadas por séculos, funcionavam como funis, coletando as ondas sonoras e direcionando-as de forma concentrada para o canal auditivo. Eram dispositivos passivos, sem componentes eletrônicos, cuja eficácia era limitada e dependia do formato e material da corneta, com uma natureza que também contribuía para o estigma associado à perda auditiva.

O advento da eletricidade no final do século XIX e início do século XX abriu caminho para a amplificação eletrônica. Os primeiros aparelhos auditivos elétricos utilizavam microfones de carbono, semelhantes aos dos telefones da época, para converter o som em sinal elétrico, que era então amplificado e reconvertido em som por um receptor. Mesmo que representasse um avanço, esses aparelhos ainda eram volumosos e de qualidade sonora limitada.

A introdução das válvulas termiônicas (ou tubos de vácuo), por volta da década de 1920, permitiu uma amplificação mais potente e controlada. No entanto, as válvulas consumiam muita energia, geravam calor e exigiam baterias grandes e pesadas, muitas vezes carregadas separadamente do aparelho em si. Os aparelhos auditivos desse tempo eram, portanto, pouco portáteis e discretos, visto que o foco principal permanecia na amplificação do volume sonoro, com pouca capacidade de processamento ou ajuste fino do som.

Um ponto de inflexão central na história dos aparelhos auditivos ocorreu em meados do século XX com a invenção e aplicação do transistor. Os transistores substituíram as volumosas e ineficientes válvulas, possibilitando uma drástica redução no tamanho dos aparelhos auditivos, além de um consumo de energia muito menor e maior confiabilidade.

Ocorreu uma miniaturização que permitiu o desenvolvimento de formatos mais práticos e discretos: os aparelhos retroauriculares (BTE - Behind-The-Ear), que se encaixam atrás da orelha, tornaram-se viáveis e populares; posteriormente, a tecnologia avançou a ponto de permitir a criação de aparelhos intra-auriculares (ITE - In-The-Ear), que se encaixam na concha da orelha, e modelos ainda menores, como os intracanais (ITC - In-The-Canal).

Embora a tecnologia do transistor tenha tornado os aparelhos auditivos acessíveis e utilizáveis por um número muito maior de pessoas, o processamento de som ainda era predominantemente analógico. Os circuitos analógicos amplificavam todos os sons de forma relativamente uniforme, com capacidade limitada para ajustes finos, filtragem de ruído ou personalização para diferentes perfis de perda auditiva. Apesar disso, a era do transistor marcou a transição dos aparelhos auditivos de dispositivos médicos experimentais para produtos de consumo mais amplamente adotados, melhorando significativamente a qualidade de vida de muitos indivíduos com perda auditiva.

A segunda metade do século XX e o início do século XXI testemunharam inovações transformadoras que foram além da simples amplificação, abordando a comunicação e o acesso à informação de maneiras fundamentalmente novas, com tecnologias sintetizadas pela Tabela B no Apêndice.

Essas inovações marcaram uma mudança fundamental, passando da mera tentativa de aumentar o volume do som para abordagens que visavam restaurar a percepção da fala por meio da estimulação neural direta (ICs) ou fornecer acesso equitativo à comunicação e à informação mediada por tecnologia (TTYs, CC).

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este estudo empregou uma Revisão Integrativa de Literatura (RIL) para mapear tecnologias digitais dirigidas a pessoas com deficiência auditiva, articulando evidências empíricas e teóricas conforme o modelo de Whittemore e Knafl (2005). A busca foi

conduzida entre março e junho de 2025 nas bases Scopus e Web of Science, escolhidas pela abrangência multidisciplinar e confiabilidade de indexação.

Utilizaram-se descritores em inglês e português combinados por operadores booleanos: ("hearing impairment" OR "hearing loss" OR "deaf" OR "deficiência auditiva" OR "surdez") AND ("digital technolog*" OR "assistive technolog*" OR "wearable*" OR "mobile app*" OR "machine learning" OR "artificial intelligence" OR "e-health" OR "teleaudiology") AND (device* OR system* OR platform* OR solution*), sem restrição temporal, contemplando artigos em inglês, português e espanhol de texto integral. Os resultados foram importados para o Parsifal®, que duplicou registros e aplicou filtros preliminares; em seguida, foi executada triagem manual segundo o fluxo Prisma 2020: identificação, exclusão de duplicatas, leitura de títulos/resumos e avaliação integral (Page et al., 2021).

Foram elegíveis estudos que descrevessem, avaliassem ou analisassem soluções digitais voltadas à comunidade surda ou a usuários com perda auditiva, excluindo-se revisões sem método, sem validação e relatórios não revisados por pares. Os dados foram sintetizados em matriz de síntese a fim de identificar lacunas e tendências; divergências foram resolvidas por consenso, garantindo rigor, transparência e reprodutibilidade do processo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção apresenta os achados relativos às principais tecnologias assistivas para audição, organizados em quatro categorias: (1) aparelhos auditivos (AASI), onde se observou a evolução de amplificadores analógicos a dispositivos digitais inteligentes com DSP, conectividade Bluetooth, IA e recursos de saúde; (2) implantes cocleares (IC), cuja eficácia depende de critérios clínicos rigorosos e de um processo integrado de cirurgia, mapeamento e reabilitação fonoaudiológica; (3) sistemas de frequência modulada e dispositivos de escuta assistida (ALD), notadamente a tecnologia Roger, que melhoram a relação sinal-ruído em ambientes desafiadores; e (4) soluções de comunicação visual e textual — de legendas automáticas a tradutores de Libras e alertas visuais/táteis — que ampliam o acesso de surdos e deficientes auditivos à informação e às interações cotidianas. Os resultados estão também sintetizados na Tabela C do Apêndice.

4.1. APARELHOS AUDITIVOS

Os AASI, comumente conhecidos como aparelhos auditivos, continuam sendo a intervenção mais comum para a maioria dos graus de perda auditiva, desde leve até profunda (Rodríguez-Correa et al., 2023; Miura, 2023). A tecnologia digital é hoje o padrão, oferecendo uma gama de funcionalidades e formatos.

A escolha do tipo de AASI depende do grau da perda auditiva, da anatomia do ouvido, das necessidades de manuseio e das preferências estéticas do usuário. Os principais formatos incluem:

- Retroauricular (BTE - Behind-the-Ear): componentes alojados em um invólucro atrás da orelha, conectados por um tubo a um molde auricular ou oliva que se encaixa no ouvido. São os mais potentes e versáteis, adequados para perdas severas a profundas, e geralmente mais robustos.
- Receptor-no-Canal (RIC): semelhante ao BTE, mas o receptor (alto-falante) fica dentro do canal auditivo, conectado ao invólucro por um fio fino. Permite um encaixe mais aberto e natural, sendo o tipo mais popular atualmente devido à sua

flexibilidade, discrição e recursos avançados.

- Intra-auricular (ITE - In-the-Ear): feito sob medida para preencher a concha da orelha. Menos visível que o BTE, adequado para perdas leves a severas.
- Intracanal (ITC - In-the-Canal): menor que o ITE, preenchendo apenas a parte inferior da concha. Discreto, para perdas leves a moderadamente severas.
- Microcanal (CIC - Completely-in-Canal): Ainda menor, inserido mais profundamente no canal auditivo, sendo pouco visível. Adequado para perdas leves a moderadas.
- Invisível-no-Canal (IIC) / Lyric: O menor tipo, inserido profundamente no canal por um profissional, tornando-o completamente invisível. O Lyric, por exemplo, é usado continuamente por meses e substituído pelo profissional, oferecendo conveniência para estilos de vida ativos, mas com limitações de bateria e recursos.

Ainda neste contexto, há recursos tecnológicos avançados (Umashankar et al., 2021), fazendo dos AASI modernos verdadeiros minicomputadores, incorporando tecnologias como:

- Processamento Digital de Sinais (DSP): permite ajustes finos e algoritmos complexos para melhorar a qualidade sonora, reduzir ruído de fundo, cancelar microfonia e adaptar a amplificação a diferentes ambientes.
- Conectividade Sem Fio (Bluetooth): possibilita a conexão direta com smartphones (iOS e Android), TVs e outros dispositivos para streaming de áudio (chamadas telefônicas, música, podcasts) e controle remoto através de aplicativos.
- Closed Caption (CC), ou legenda oculta em português: um sistema de exibição de texto sincronizado com o áudio de um conteúdo audiovisual, como vídeos, programas de TV e filmes. Ele permite que pessoas com deficiência auditiva acompanhem o que está sendo dito e ouvido, além de ser útil em ambientes com muito ruído.
- Recarregabilidade: baterias recarregáveis de íons de lítio eliminam a necessidade de troca constante de pequenas baterias, oferecendo maior conveniência e sustentabilidade.
- Inteligência Artificial (IA) e Machine Learning (ML): aparelhos mais avançados utilizam IA para analisar o ambiente sonoro em tempo real e ajustar automaticamente as configurações para otimizar a compreensão da fala e o conforto auditivo (ex: Phonak AutoSense OS). Alguns sistemas aprendem as preferências do usuário ao longo do tempo ou usam redes neurais profundas (DNN) para uma supressão de ruído mais eficaz (ex: Phonak Audéo Sphere). A IA também pode habilitar recursos de monitoramento de saúde (contagem de passos, detecção de quedas) e tradução de idiomas.

Percebe-se: a evolução tecnológica transformou os AASI de simples amplificadores em dispositivos auditivos inteligentes e conectados, capazes de oferecer uma experiência sonora muito mais rica, personalizada e adaptada aos desafios do mundo moderno.

4.2. IMPLANTES COCLEARES

Para indivíduos com perda auditiva neurossensorial de grau severo a profundo que não obtêm benefício significativo com AASI, o implante coclear (IC) representa uma alternativa tecnológica distinta (Carlyon & Goehring, 2021; De Souza, 2024). O IC não amplifica o som, mas o converte em sinais elétricos que estimulam diretamente as fibras do nervo auditivo na cóclea, contornando as células ciliadas danificadas. O sistema consiste em:

- Componente Externo: um microfone capta o som, um processador de fala o converte em código digital, e uma antena transmissora envia esse código através da pele para o componente interno.
- Componente Interno: um receptor/estimulador implantado cirurgicamente sob a pele recebe o código e envia impulsos elétricos através de um feixe de eletrodos inserido na cóclea, estimulando o nervo auditivo, que então envia os sinais para o cérebro para serem interpretados como som.

O Sistema Único de Saúde (SUS) brasileiro estabelece critérios rigorosos para a indicação do IC, definidos pela Portaria GM/MS nº 2.776/2014. Os critérios gerais incluem perda auditiva neurossensorial bilateral de grau severo a profundo com benefício limitado de AASI (tipicamente, reconhecimento de sentenças em conjunto aberto inferior a 50-60% na melhor orelha). Há especificações detalhadas para diferentes faixas etárias (crianças e adultos) e condições (surdez pré ou pós-lingual), além de considerar fatores como adequação psicológica, motivação, acesso à reabilitação e ausência de contraindicações médicas (como agenesia coclear ou do nervo auditivo). O IC bilateral também possui critérios específicos.

A jornada do IC envolve uma avaliação multidisciplinar completa (otorrinolaringologista, fonoaudiólogo, psicólogo, assistente social), cirurgia para implantação do componente interno, ativação do dispositivo (geralmente algumas semanas após a cirurgia) e um processo intensivo e contínuo de mapeamento (ajustes do processador) e terapia fonoaudiológica (reabilitação auditiva). O sucesso do IC depende da adesão a essa reabilitação, que ensina o cérebro a interpretar os novos sinais elétricos como som significativo.

O IC é uma interface direta entre tecnologia e o sistema nervoso, que oferece a possibilidade de audição e compreensão da fala para pessoas com surdez profunda, tendo a implementação, especialmente no contexto do SUS, como um processo complexo que exige avaliação cuidadosa e um forte compromisso com a reabilitação pós-operatória.

4.3. SISTEMAS DE FREQUÊNCIA MODULADA (FM) E OUTROS DISPOSITIVOS DE ESCUTA ASSISTIDA (ALD)

Mesmo com AASI ou IC avançados, ambientes com ruído de fundo, distância do interlocutor ou reverberação podem dificultar a compreensão da fala. Assim, os Dispositivos de Escuta Assistida (ALD - Assistive Listening Devices) visam superar esses desafios (Ekpete, 2024).

Os ALDs funcionam captando o som desejado (geralmente a voz do interlocutor) próximo à fonte com um microfone e transmitindo-o sem fio diretamente para o dispositivo auditivo do usuário (AASI ou IC), melhorando significativamente a relação sinal-ruído.

Tradicionalmente, muitos desses sistemas utilizavam a tecnologia de Frequência Modulada (FM) para a transmissão sem fio. Atualmente, um padrão digital proeminente é a tecnologia Roger, desenvolvida pela Phonak (Thibodeau et al., 2024). É importante notar que Roger não é FM, mas um padrão de transmissão digital adaptativo. Os sistemas Roger consistem em microfones (como Roger On, Roger Select, Roger Pen) usados pelo interlocutor ou colocados sobre uma mesa, e receptores Roger que se conectam aos AASI ou ICs do usuário. A tecnologia Roger oferece vantagens como:

Melhora comprovadamente a compreensão da fala em ambientes desafiadores.

Adaptação Automática: o sistema mede o nível de ruído e ajusta o sinal para garantir que a fala permaneça audível.

MultiBeam Technology: microfones com múltiplos feixes captam som em 360° e selecionam automaticamente a direção com o melhor sinal de fala.

Rede MultiTalker: permite conectar múltiplos microfones Roger simultaneamente, facilitando conversas em grupo.

Compatibilidade Universal: funciona com a maioria das marcas e modelos de AASI e ICs que possuem entrada de áudio direta ou bobina telefônica.

Além disso, existem outras tecnologias ALD, como: Sistemas de Aro Magnético (Induction Loop), que transmitem o som via campo magnético para aparelhos auditivos equipados com bobina telefônica (telecoil), sendo comuns em locais públicos como teatros e igrejas; Sistemas Infravermelhos (IR), que usam luz infravermelha para transmitir o som e requerem linha de visão direta entre o transmissor e o receptor; Amplificadores Pessoais, que são dispositivos simples com microfone e fone de ouvido para amplificação localizada.

4.4. TECNOLOGIAS DE COMUNICAÇÃO VISUAL E TEXTUAL

Para além das tecnologias focadas na audição, um conjunto diversificado de ferramentas utiliza modalidades visuais e textuais para facilitar a comunicação e o acesso à informação para pessoas surdas e com deficiência auditiva.

Aplicativos móveis como o "Transcrição Instantânea" (Live Transcribe) do Google utilizam o microfone do smartphone e reconhecimento automático de fala (ASR - Automatic Speech Recognition) baseado em IA para converter a fala ambiente em texto exibido na tela quase instantaneamente, facilitando a compreensão de conversas faladas.

Em relação a aplicativos e plataformas de tradução para língua de sinais, há ferramentas como o Hand Talk e a Suíte VLibras (uma iniciativa governamental brasileira), que utilizam avatares 3D para traduzir texto ou voz (em português) para Libras.

O Hand Talk também funciona como dicionário de bolso e ferramenta de aprendizado, o Aplicativo iniciou no Brasil no ano de 2013, sendo utilizado por ouvintes estão iniciando no estudo da Libras, auxilia a se comunicar com os surdos; está disponível para surdos ou deficientes auditivos que estão no início do seu aprendizado da língua de sinais, há autores interessados em pesquisas com enfoque sobre a usabilidade e eficácia deste recurso de tecnologia assistiva.

O VLibras teve seu início no Brasil em 2016, oferece plugins para navegadores e widgets para websites, visando tornar o conteúdo digital acessível. É importante frisar que essas ferramentas têm limitações e não substituem intérpretes humanos em suas atividades e situações complexas.

Pesquisas e desenvolvimentos recentes focam no uso de IA e visão computacional para reconhecer sinais de Libras capturados por câmera (até mesmo de baixa qualidade) e traduzi-los para Português em tempo real. Projetos como o desenvolvido pela parceria Cesar/Lenovo e as novas funcionalidades da Hand Talk representam avanços nessa área promissora, embora ainda enfrentam desafios de precisão e abrangência do vocabulário de sinais.

Quanto aos Serviços de Intérprete Remoto por Vídeo (VRI / VRS), há plataformas como a HelpVox Connect, que oferece acesso a intérpretes de Libras profissionais via videochamadas, intermediando a comunicação entre pessoas surdas e ouvintes em diversos contextos, como consultas médicas, atendimento ao cliente, reuniões, etc. Esses serviços modernizam os antigos serviços de retransmissão baseados em TTY.

A legendagem (Captioning / Subtitling) é essencial para o acesso a conteúdos audiovisuais (TV, filmes, vídeos online, palestras), incluindo:

Legendas Ocultas (Closed Captions - CC): podem ser ativadas ou desativadas pelo usuário.

Legendas Descritivas (SDH - Subtitles for the Deaf and Hard of Hearing): além do diálogo, incluem a descrição de sons importantes não verbais (música, telefone tocando, porta batendo).

Legendas Abertas (Open Captions): permanentemente visíveis na tela. A produção de legendas pode ser feita por humanos (maior precisão) ou por sistemas de reconhecimento automático de fala (ASR), que estão se tornando mais comuns, mas ainda podem apresentar erros.

A janela de Libras refere-se à prática de exibir um intérprete de Língua Brasileira de Sinais (Libras) em um espaço específico da tela, durante a exibição de audiovisuais ou eventos ao vivo, para garantir a acessibilidade a pessoas surdas que utilizam a Libras como sua língua principal. Esta prática é uma ferramenta de inclusão fundamental, permitindo que a comunidade surda compreenda a informação transmitida. A Norma ABNT NBR 15.290:2005 estabelece recomendações para o tamanho e posicionamento da janela de Libras (pelo menos metade da altura e um quarto da largura do televisor, preferencialmente no canto direito).

Além destas soluções, há sistemas de alerta visual e tátil, que convertem sons ambientais importantes em sinais perceptíveis por outros sentidos. Exemplos incluem: campainhas com luzes estroboscópicas (flashes intensos) ou que enviam notificações vibratórias para smartphones/smartwatches; telefones com sinalizadores luminosos que piscam quando o telefone toca ou dispositivos que enviam alertas vibratórios para pagers; despertadores com vibração intensa (colocados sob o travesseiro - "bed shaker") ou luzes piscantes; alarmes de segurança, como detectores de fumaça ou monóxido de carbono com alertas visuais e/ou vibratórios; monitores de bebê com alertas visuais ou vibratórios; notificações em celulares e relógios inteligentes com funcionalidades nativas ou de aplicativos que detectam sons específicos (campainha, choro de bebê, alarme) e geram notificações visuais ou vibratórias no dispositivo.

Dentro do contexto das tecnologias, vamos mencionar uma plataforma de tradução simultânea de Libras que tem sido utilizada no Brasil - ICOM. Esta ferramenta on-line foi desenvolvida por uma iniciativa da "AME SP Metroviários" Associação Amigos Metroviários dos Excepcionais (AME), uma organização sem fins lucrativos do Estado de São Paulo, que trabalha há mais de 30 anos para favorecer a inclusão de pessoas com

deficiência na sociedade, seja por condições cognitivas, sensoriais, físicas ou motoras, eles atuam em projetos e ações relacionadas ao Metrô do Estado de São Paulo.

O atendimento da ICOM precisou de investimento em inovação, para ampliar a inclusão social, de modo a proporcionar um canal de comunicação entre ouvintes e surdos, que utilizam a Língua Brasileira de Sinais, sendo de modo gratuito por QR code ou weblink, o usuário necessita de um em tablets, notebooks, desktops e celulares Android ou iOS ou computador com acesso à internet e vídeo.

O recurso está disponível 24 horas por dia e proporciona comunicação em tempo real entre surdos e ouvintes. Para este procedimento o solicitante realiza a chamada por ligação em vídeo, um profissional Intérprete de Libras fará o atendimento e a tradução de Libras para Português e ou do Português para Libras, possibilitando que a mediação da comunicação aconteça na língua materna da comunidade Surda. Os assuntos e locais que utilizam o serviço são os mais diversos, como: empresas, lojas, agências bancárias, delegacias, INSS, sindicatos, órgãos públicos, consultórios médicos, (com restrição de atendimentos psiquiátricos e psicológicos). Há uma central com mais de 50 intérpretes para a prestação deste serviço.

A AME atua em diversas frentes, como acessibilidade, inclusão escolar, teletrabalho para pessoas com deficiência e tecnologia assistiva, visando garantir a participação plena de pessoas com deficiência em diversos ambientes.

4.5. O FUTURO DA ACESSIBILIDADE AUDITIVA

Percebe-se que a tecnologia assistiva para surdez e deficiência auditiva está em constante evolução, impulsionada por avanços em áreas como inteligência artificial, neurotecnologia e biotecnologia. As inovações futuras prometem tanto aprimorar as soluções existentes quanto abrir caminhos radicalmente novos para a comunicação e a restauração auditiva.

A Inteligência Artificial, possui um potencial futuro vasto (Balling et al., 2021; Umashankar et al., 2021). Podemos listar:

Processamento de Som Aprimorado em AASI/IC: espera-se que algoritmos de IA mais sofisticados permitam uma adaptação ainda mais precisa e automática ao ambiente sonoro. Isso pode incluir uma separação mais eficaz da fala do ruído em situações complexas (como o "problema do coquetel"), a personalização dinâmica baseada no aprendizado contínuo das preferências e necessidades do usuário, e talvez até a capacidade de reconstruir ou realçar partes da fala que foram perdidas devido à perda auditiva ou ao ruído, indo além da simples amplificação ou filtragem.

Tradução Automática de Libras: a tradução automática entre Libras e Português (e outras línguas de sinais e orais) é uma área de intensa pesquisa e desenvolvimento. Enquanto sistemas baseados em avatares como o VLibras oferecem tradução de texto/voz para Libras, o grande desafio é o Reconhecimento de Língua de Sinais (SLR) em tempo real a partir de vídeo. Projetos utilizando visão computacional e redes neurais profundas buscam criar sistemas capazes de "ver" e entender a Libras sinalizada por uma pessoa e traduzi-la para texto ou voz em Português. A tecnologia da Hand Talk e da parceria Cesar/Lenovo são exemplos dessa tendência. Superar desafios como a variabilidade dos sinais, nuances de expressão e regionalismos é crucial para a viabilidade prática desses sistemas, que poderiam revolucionar a comunicação entre surdos e ouvintes.

IA em Diagnóstico e Reabilitação: a IA também pode ser aplicada para analisar dados audiométricos e outros exames, auxiliando no diagnóstico mais preciso da perda auditiva e na identificação de suas causas. Além disso, poderia personalizar programas de treinamento e reabilitação auditiva, adaptando os exercícios ao progresso individual do usuário.

Percebe-se: a IA promete avanços significativos tanto na melhoria da percepção auditiva por meio de dispositivos assistivos quanto na facilitação da comunicação intermodal (sinal-oral).

Destaca-se também a contínua pesquisa em implantes cocleares e outros dispositivos implantáveis, buscando melhorias na interface com o sistema auditivo e na experiência do usuário. Podemos citar o design e posicionamento de eletrodos, onde o desenvolvimento de feixes de eletrodos mais finos, flexíveis e atraumáticos é uma prioridade. O objetivo, neste caso, é minimizar o trauma na delicada estrutura da cóclea durante a inserção cirúrgica, o que é crucial para preservar qualquer audição residual que o paciente possa ter (audição eletroacústica) e para permitir uma estimulação neural mais precisa e eficiente. A miniaturização dos eletrodos também é uma área de pesquisa.

Quanto às estratégias de processamento de fala, os algoritmos que convertem o som em sinais elétricos nos ICs estão em constante aprimoramento. Pesquisas buscam melhorar a representação de nuances sonoras, como o tom e o timbre, o que é particularmente importante para a percepção da música e a identificação de emoções na fala. Melhorar o desempenho em ambientes ruidosos continua sendo um foco principal. Além da estimulação elétrica, pesquisas exploram alternativas como a estimulação óptica (optogenética), que poderia, teoricamente, oferecer uma resolução espacial muito maior, permitindo ativar populações neurais mais específicas e, assim, transmitir informações sonoras mais detalhadas.

Um objetivo de longo prazo é eliminar a necessidade de componentes externos nos dispositivos. Isso envolveria a implantação de microfones sob a pele e o desenvolvimento de baterias internas recarregáveis (possivelmente por indução transcutânea) com longa duração. Embora desafios significativos permaneçam quanto à qualidade da captação sonora do microfone interno e à longevidade e recarga da bateria, a busca por um IC "invisível" continua, visando maior conveniência e aceitação estética.

Além de aprimorar as tecnologias existentes, pesquisas exploram abordagens fundamentalmente novas para a restauração auditiva e a comunicação. As Interfaces Cérebro-Computador (BCIs), por exemplo, são sistemas que criam um caminho de comunicação direto entre o cérebro e um dispositivo externo, como um computador ou uma prótese. No contexto da audição, as BCIs poderiam, teoricamente, ser usadas para restaurar a percepção sonora em casos onde o nervo auditivo está ausente ou severamente danificado (situações onde o IC não funciona), estimulando diretamente áreas auditivas no tronco cerebral (como já fazem os Implantes Auditivos de Tronco Encefálico - ABI) ou no córtex auditivo. A pesquisa em BCIs auditivas ainda está em estágios iniciais comparada a aplicações motoras, utilizando técnicas como eletroencefalografia (EEG) ou eletrodos implantados. Embora promissora para casos específicos de surdez, a aplicação clínica ampla de BCIs para audição ainda enfrenta desafios tecnológicos e de compreensão da codificação neural do som.

Há, de mesmo modo, a Terapia Gênica. Sabe-se que muitas formas de surdez congênita têm origem genética. Assim, este tipo de terapia busca corrigir os defeitos genéticos, oferecendo a perspectiva de uma cura biológica. A abordagem mais comum envolve o uso

de vetores virais (vírus modificados e inofensivos) para entregar cópias funcionais do gene defeituoso às células relevantes na cóclea (como as células ciliadas). Pesquisas recentes, inclusive ensaios clínicos em humanos, demonstraram sucesso parcial na restauração da audição em crianças com surdez causada por mutações no gene OTOF, responsável pela produção da proteína otoferlina. Outros genes, como o GJB2 (conexina 26), também são alvos de pesquisa. Contudo, a terapia gênica para surdez ainda enfrenta desafios significativos: garantir a entrega segura e eficiente do gene ao local correto na cóclea, a durabilidade do efeito terapêutico, a aplicabilidade restrita a tipos específicos de surdez genética, e questões de custo e acesso, especialmente no Brasil.

Outra abordagem biológica em pesquisa é o uso de células-tronco para regenerar as células ciliadas ou neurônios auditivos danificados. Estudos em animais mostraram algum potencial, especialmente para neuropatia auditiva, mas a aplicação clínica ainda está distante.

São fronteiras da pesquisa que representam um afastamento das abordagens protéticas tradicionais, visando a restauração biológica da função ou a criação de novas interfaces neurais. Embora ainda majoritariamente experimentais, elas carregam a promessa de futuras transformações no tratamento da surdez.

Dentro da análise comparativa, podemos dizer que a acessibilidade para os surdos ocorrerá no momento também da ampliação de profissionais nas mais diversas áreas, que tenham o conhecimento da cultura surda e sejam fluentes nas línguas de sinais, bem como a deficiência auditiva dependerá da convergência entre avanços tecnológicos, equidade de acesso e reconhecimento da diversidade linguística como patrimônio social.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo visou apresentar a deficiência auditiva no Brasil, trazendo tecnologias assistivas contemporâneas e promessas futuras, também articulando duas lentes indissociáveis. A primeira é biomédica – essencial para diagnosticar perdas, selecionar aparelhos e indicar implantes. A segunda, sociocultural, ressalta a surdez, a comunicação de Surdos em língua de sinais como identidade linguística vibrante da comunidade surda, ancorada na Libras. Neste contexto, como mencionamos, os surdos necessitam de pessoas fluentes em Libras e do profissional Tradutor Intérprete de Libras para viabilizar o acesso diretamente em sua língua materna.

Observamos, à luz dos dados, que a perda auditiva se configura como desafio de saúde pública de grande magnitude: milhões de brasileiros — sobretudo idosos e pessoas em situação socioeconômica frágil — vivem barreiras que restringem sua participação plena, em especial no mercado de trabalho.

A trajetória da comunidade Surda brasileira, as barreiras de comunicação em sua língua materna ocorre diariamente, visto que a Libras ainda tem pouca visibilidade no âmbito nacional, os surdos podem sofrer preconceito, discriminação, sendo até mal compreendidos devido as barreiras comunicacionais, neste contexto a Comunidade Surda segue em seus diversos movimentos, apoiada por instituições como o Instituto Nacional de Educação de Surdos (INES), no Rio de Janeiro, Institutos Bilíngues, na militância da Federação Nacional de Educação e Integração dos Surdos (FENEIS), entidade brasileira sem fins lucrativos que atua na defesa dos direitos e na promoção da inclusão da comunidade surda, unidos com associações de surdos, com Profissionais surdos e

ouvintes envolvidos com a luta por inclusão, conquistaram o reconhecimento legal da Libras, marco que desloca a surdez do campo da patologia para o da pertença cultural.

Em paralelo, as tecnologias assistivas avançaram de cornetas rudimentares a minicomputadores auriculares equipados com inteligência artificial, implantes cocleares multicanais e plataformas de comunicação visual que transpassam barreiras informacionais. Avanços emergentes — interfaces cérebro-máquina ou terapias gênicas — projetam um horizonte ainda mais disruptivo.

Entretanto, esses recursos não chegam a todos nem estão isentos de controvérsia. O implante coclear, por exemplo, traduz-se em inclusão auditiva para muitos, mas reabre o debate sobre a surdez como diferença a celebrar ou deficiência a corrigir. Barreiras de custo, desconhecimento, estigma e distribuição desigual de serviços mantêm grande parte da população à margem das inovações. A equidade tecnológica, portanto, depende de políticas públicas robustas, financiamento sustentado e informação acessível.

Consolidar a acessibilidade auditiva exige abordagem sistêmica: pesquisa orientada ao usuário, sistemas de saúde capazes de detectar precocemente a perda, educação bilíngue que valorize Libras e português, e profissionais preparados para acompanhar todo o ciclo de cuidado. Sobretudo, demanda uma sociedade que adote o Desenho Universal e encare a diversidade linguística como patrimônio, erguendo pontes — e não muros — entre Surdos e ouvintes.

Nesta pesquisa constatou-se a carência de continuar a pesquisa em outras direções significativas, quais sejam: Tecnologias assistivas, deficientes auditivos, abrangência dos estudos comunicacionais por meio de Libras, cultura e identidade surda, surdos e seus desafios frente à Língua Portuguesa, a Libras e os meandros das regionalidades, avanços nas pesquisas sobre o implante coclear, aparelhos auditivos e demais tecnologias.

Em última análise, a surdez no Brasil é definida por esta tensão dialética e produtiva entre a promessa de restauração funcional da tecnologia e a afirmação da identidade cultura Surda. O caminho próspero a seguir não está na supremacia de uma visão sobre a outra, mas no amadurecimento de um ecossistema sociotécnico e cultural onde a inovação biomédica e o fortalecimento da identidade linguística coexistam como opções legítimas e acessíveis. A medida do progresso está na capacidade da sociedade de garantir a autonomia e a dignidade de cada indivíduo, seja na escolha de tecnologias assistivas ou na plena expressão de sua identidade em línguas de sinais. Assim, nesse equilíbrio, a tecnologia serve como ferramenta de empoderamento, e não de apagamento, com a identidade Surda sendo celebrada como uma faceta importante da diversidade humana.

REFERÊNCIAS

[1] Abreu, M. C. B. F. (2020). Abordagem socioantropológica da surdez, Língua de Sinais e Educação Bilíngue: uma perspectiva histórica e cultural. Obutchénie: Revista de Didática e Psicologia Pedagógica, 4(3), 711-734.

[2] Balling, L. W., Mølgaard, L. L., Townend, O., & Nielsen, J. B. B. (2021, August). The collaboration between hearing aid users and artificial intelligence to optimize sound. In Seminars in Hearing (Vol. 42, No. 03, pp. 282-294). Thieme Medical Publishers, Inc..

[3] Bigogno, P. G. (2023). Cultura, comunidade e identidade surda: O que querem os surdos? Culture, community and deaf identity: What do the deaf want?. NJINGA e SEPÉ: Revista Internacional de Culturas, Línguas Africanas e Brasileiras (ISSN: 2764-1244), 3(2), 268-285.

[4] Carlyon, R. P., & Goehring, T. (2021). Cochlear implant research and development in the twenty-first century: a critical update. Journal of the Association for Research in Otolaryngology, 22(5), 481-508.

[5] Carvalho, V. F., Regina, A., & Campello, S. (2022). A existência de quatorze (14) identidades surdas. Humanidades & Inovação, 9(14), 139-152.

[6] Correia, J. A. (2016). A DIMENSÃO PSICOSSOCIAL DA SURDEZ: DA DEFICIÊNCIA E TRANSTORNO PARA A PROMOÇÃO DA IDENTIDADE. In 12º Congresso Internacional da Rede Unida.

[7] de Azevedo, E. E. B., de Aquino, J. E. F., & da Hora, M. M. (2021). Questão surda: Compreendendo o audismo como expressão da questão social. Temporalis, 21(42), 188-205.

[8] de Souza, L. M. X. (2024). Redução de ruído em implantes cocleares utilizando arranjo de microfones [Tese de doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina]. Repositório Institucional da UFSC.

[9] Ekpete, O. H. (2024). Assistive listening devices for individuals with hearing impairment. Faculty of Natural and Applied Sciences Journal of Mathematics, and Science Education, 5(2), 78-81.

[10] Gesueli, Z. M. (2006). Lingua (gem) e identidade: a surdez em questão. Educação & Sociedade, 27, 277-292.

[11] Karnopp, Lodenir B.; KLEIN, Madalena; LUNARDI-LAZZARIN, Márcia L. (Orgs.). Cultura surda na contemporaneidade: negociações, intercorrências e provocações. 1. ed. Canoas: Editora da ULBRA, 2011

[12] Macedo, Y. M. (2021). Arte e educação na cultura surda. AEC&D-Arte, Educação, Comunicação & Design, 2(3), 1-17.

[13] Magrini, A. M., & Garcia, A. C. O. (2024). Revisão integrativa: Habilidades cognitivas em programas de treinamentos auditivos em idosos usuários de Aparelho de Amplificação Sonora Individual. Research, Society and Development, 13(11), e144131147498-e144131147498.

[14] Miura, T. (2023). Narrative review of assistive technologies and sensory substitution in people with visual and hearing impairment. Psychologia, 65(1), 70-99.

[15] Nóbrega, J. D., Andrade, A. B. D., Pontes, R. J. S., Bosi, M. L. M., & Machado, M. M. T. (2012). Identidade surda e intervenções em saúde na perspectiva de uma comunidade usuária de língua de sinais. Ciência & Saúde Coletiva, 17, 671-679.

[16] Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., ... & Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. bmj, 372.

[17] Perlin, G., & Strobel, K. (2014). História cultural dos surdos: desafio contemporâneo. Educar em Revista, 17-31.

[18] Perlin, Gladis; Miranda, Wilson. Surdos: o narrar e a política. Ponto de Vista. Florianópolis, n.05, p. 217-226, 2003.F

[19] Quadros, R. M. de, & Karnopp, L. B. (2004). Língua de sinais brasileira: estudos linguísticos. Porto Alegre: Artmed.

[20] Rezende, Patrícia Luiza Ferreira. Implante coclear: normalização e resistência surda. Curitiba: CRV, 1.ª edição, 2013, 162 p. ISBN 978-858042580

[21] Rodríguez-Correa, P. A., Valencia-Arias, A., Patiño-Toro, O. N., Oblitas Díaz, Y., & Teodori De la Puente, R. (2023, April). Benefits and development of assistive technologies for Deaf people's communication: A systematic review. In Frontiers in Education (Vol. 8, p. 1121597). Frontiers Media SA.

[22] Skliar, C., & Quadros, R. (2000). Invertendo epistemologicamente o problema da inclusão: os ouvintes no mundo dos surdos. Estilos da clínica, 5(9), 32-51.

[23] Soleman, C., & Bousquat, A. (2021). Políticas de saúde e concepções de surdez e de deficiência auditiva no SUS: um monólogo?. Cadernos de Saúde Pública, 37, e00206620. https://doi.org/10.1590/0102-311X00206620

[24] Thibodeau, L. M., Leach, V., Sivaswami, A., & Qi, S. (2024). Benefits of speech recognition in noise using remote microphones for people with typical hearing. Journal of Communication Disorders, 112, 106467.

[25] Umashankar, A., Umashankar, A. A., Pachaiappan, C., & Pachaiappan, C. (2021). APPLICATIONS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN HEARING AIDS AND AUDITORY IMPLANTS: A SHORT REVIEW. Journal of Hearing Science, 11(3).

[26] Whittemore, R., & Knafl, K. (2005). The integrative review: updated methodology. Journal of advanced nursing, 52(5), 546-553.

APÊNDICE

Tabela A - Análise sociodemográfica da prevalência de deficiência auditiva, dados da PNS 2019

Dimensão analisada	Principais números	Observação
Idade	*2–9 anos*: 31 mil casos *60+ anos*: 4,3 % (≈ 1,5 milhão)	Prevalência cresce de modo acentuado com o envelhecimento.
Gênero	Homens = 1,1 % Mulheres = 1,1 %	Diferença estatisticamente desprezível.
Raça/Cor	Todas as categorias ≈ 1,1 %	Não há variação significativa entre grupos raciais.
Escolaridade (18+ anos)	Sem instrução/fundamental incompleto = 2,9 % Superior completo = 0,5 %	Correlação inversa entre nível educacional e deficiência auditiva.
Renda domiciliar per capita	Faixa ½–1 sal. mínimo = 1,5 % (maior proporção)	Concentração maior em estratos de menor poder aquisitivo.
Situação na força de trabalho (14+ anos)	Ocupados = 0,6 % Desocupados = 0,6 % Fora da força = 2,6 %	Evidência forte exclusão do mercado laboral: maioria das pessoas com deficiência auditiva está fora da força de trabalho.

Fonte: PNS 2019.

Tabela B - Principais tecnologias existentes para pessoas com deficiência auditiva

Tecnologia / Dispositivo	Principais recursos técnicos	Impacto para pessoas surdas ou com deficiência auditiva
Aparelhos Auditivos Digitais (AASI)	• Processamento digital de sinais (DSP). • Algoritmos de **redução de ruído** que separam fala e fundo. • **Cancelamento de feedback** (microfonia). • **Microfones direcionais** para focar sons à frente. • **Compressão / transposição de frequência** (ajuste de bandas onde há maior perda). • **Programabilidade** por software – ajuste fino individual.	Revolucionaram a amplificação sonora moderna, oferecendo som mais limpo, menor microfonia e adaptação personalizada que amplia o número de usuários beneficiados.
Implantes Cocleares (IC)	• Estimulação elétrica direta do nervo auditivo via feixes de eletrodos multicanais. • Processadores externos de fala cada vez mais sofisticados. • Cirurgia pioneira: 1978 (Graeme Clark).	Opção para perdas severas a profundas que não respondem aos AASI; possibilita percepção de fala e integração social/educacional de milhares de usuários.
TTY/TDD (Teletipo)	• Acoplador acústico (modem) conecta teletipos à linha telefônica (1964). • Transmissão de texto em tempo real. • Serviços de retransmissão para chamada com ouvintes.	Quebrou isolamento comunicacional, permitindo a usuários surdos agendar, obter serviços e manter contato por telefone de forma autônoma; precursor de soluções de texto/mensagem atuais.
Legendagem Oculta (Closed Caption – CC)	• Legendas codificadas na linha 21 do sinal analógico de TV. • Decodificação por chip (padrão desde 1990 nos EUA). • Legendagem em tempo real (1982) para eventos ao vivo.	Acesso pleno a conteúdos televisivos e audiovisuais; tornou-se recurso obrigatório em diversos países, crucial para inclusão cultural, educacional e informativa.

Fonte: dos autores.

Capítulo 13

Análise do espectro de batidas binaurais audíveis e inaudíveis associadas à música para o tratamento de ansiedade

Patrícia Friedrich Lima
Elaine da Silva Pereira Reis Roque
Anália Ribeiro Batista
Ederson Cichaczewski

Resumo: O interesse no estudo das batidas binaurais como tratamento para ansiedade (entre outros benefícios, aumentar a concentração, reduzir a dor e estados depressivos) tem crescido nos últimos anos em virtude de seu baixo custo e facilidade de aplicação. Entendendo como as ondas sonoras das batidas binaurais audíveis e inaudíveis se apresentam e como se mesclam com música viabiliza compreender sua interação com as ondas cerebrais, facilitando sua manipulação. O objetivo deste trabalho é fazer uma análise do espectro de frequências de batidas binaurais audíveis e inaudíveis e entender como elas podem ser mescladas a músicas para que tenham efeito terapêutico em pacientes com transtorno de ansiedade.

Palavras-chave: Batidas binaurais, ansiedade, drogas digitais.

1. INTRODUÇÃO

O estudo das batidas binaurais como forma de tratamento para diversas doenças e condições psicológicas tem aumentado nos últimos anos, no âmbito da pesquisa por um tratamento não invasivo, de baixo custo, de fácil aplicabilidade, sem efeitos colaterais e eficiente. A ansiedade é um transtorno de grande ocorrência e que pode diminuir muito a qualidade de vida de uma pessoa, e estudos indicam que ouvir batidas binaurais pode reduzir a ansiedade (Renteria et al., 2014), principalmente se forem unidas a uma música relaxante.

Uma batida binaural é um som baseado em diferenças de frequências do estímulo auditivo capaz de conduzir as ondas cerebrais num determinado ritmo. Quando duas frequências levemente diferentes, espaçadas de 1 Hz a 32 Hz, dependendo do estado mental desejado (delta, theta, alpha, beta, gama), se fazem presentes em cada ouvido, o cérebro reconhece essa diferença, gerando um terceiro tom. Este induzirá a uma sincronia neuronal, onde um determinado tipo de onda prevalecerá, levando a um estado psicológico específico (Huang & Charyton, 2008).

A batida binaural é composta por ondas sonoras senoidais, em que um som constante é apresentado numa única frequência em cada uma delas. A ansiedade pode ser medida por eletroencefalograma (EEG) pela medição da atividade elétrica da amidala cerebral (responsável por controlar medo, ansiedade e pânico) nas regiões cerebrais T3 e T4 (Ribas, Ribas & Nóbrega, 2018). Na presença de ansiedade, haverá predominância de ondas beta-altas (23-38 Hz). A ideia da batida binaural é interferir nas ondas rápidas oferecendo um ritmo mais lento (ondas alfa, theta ou delta) e provocando sincronização com o mesmo. Essa alteração será disseminada por toda a rede neural, pela FFR (*Frequency-Following Response*). Mesclando as batidas binaurais com música relaxante, como música clássica, por exemplo, obtém-se um efeito ainda melhor, já que a música por si só já tem efeito relaxante (Ramdinwaii & Mittal, 2017).

O objetivo deste trabalho é analisar tanto o espectro das ondas sonoras geradas para a formação da batida binaural audível quanto a inaudível, isoladas e mixadas com música relaxante.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia consistiu em usar o editor de áudio free Audacity (Audacity, 20241) para gerar os tons binaurais e para mesclá-los com música clássica instrumental relaxante. Também se aplicou ao mesmo o plug-in free SPAN (Voxengo, 2024) para analisar o espectro das ondas sonoras das batidas binaurais e da música, isoladas e mescladas. Esse analisador de espectro utiliza a Transformada Rápida de Fourier (FFT) para decompor as frequências do som, fazendo o processamento digital dos sinais, transformando do domínio do tempo (contínuo) para o domínio de frequências (discreto), gerando um gráfico.

Foi analisado primeiramente o espectro sonoro das batidas binaurais audíveis, criadas com frequências de 436 Hz (lado esquerdo) e 444 Hz (lado direito), gerando uma diferença de 8 Hz. O mesmo foi feito com a batida binaural inaudível, com frequência de 8 Hz (lado esquerdo) e 16 Hz (lado direito), gerando uma diferença também de 8 Hz. Após, essas batidas binaurais formam combinadas com música e se registrou o espectro sonoro desta união.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 temos a aparência no domínio do tempo das ondas sonoras geradas para a formação das batidas binaurais nas frequências de 436Hz e 444 Hz. Na Figura 2, as ondas sonoras geradas para a formação das batidas binaurais nas frequências de 8Hz e 16 Hz, ou seja, inaudíveis, já que o som se torna audível a partir de 20 Hz.

Figura 1. Ondas sonoras geradas para a formação de batidas binaurais audíveis (436Hz e 444 Hz)

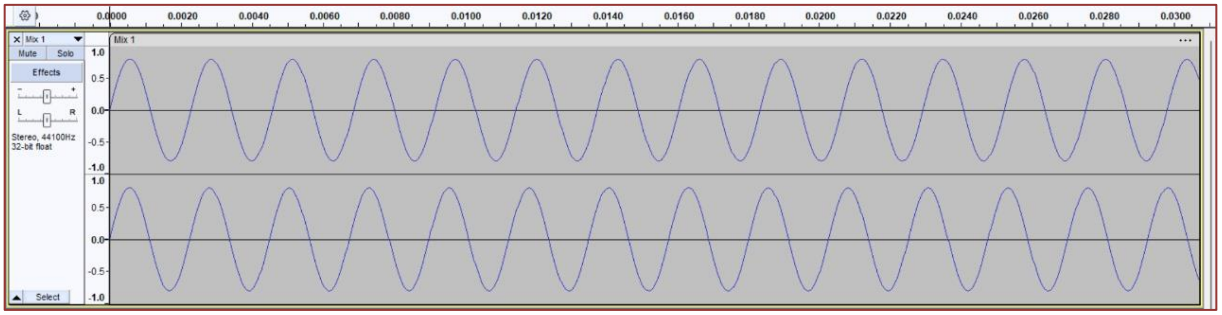
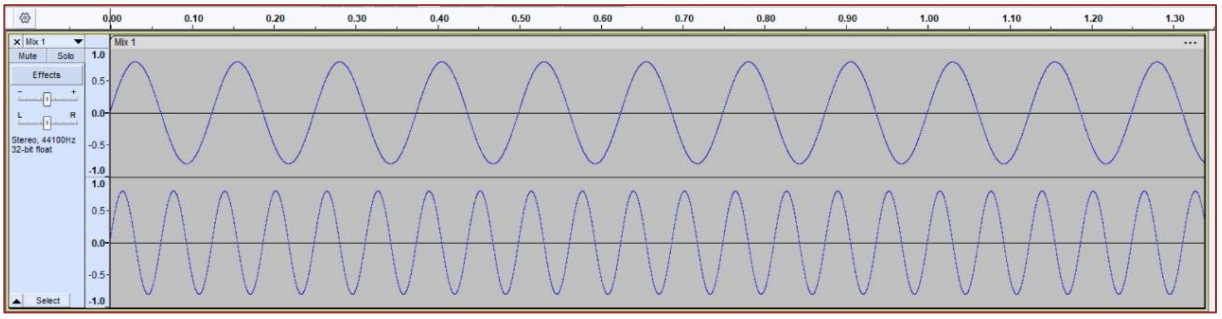
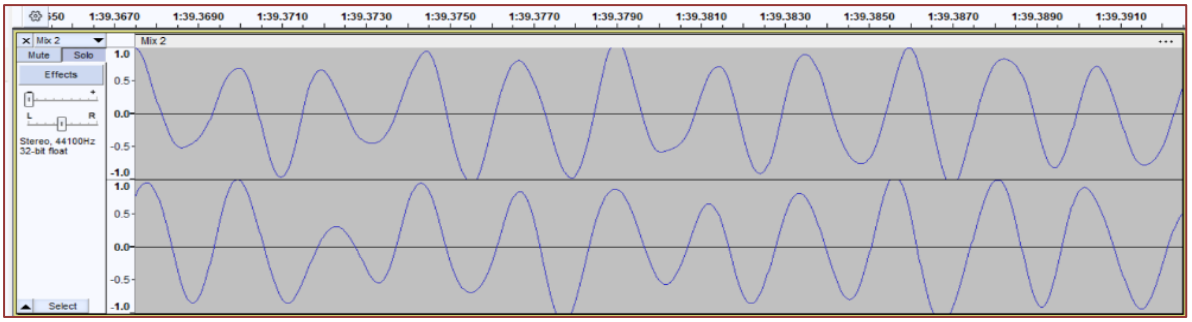


Figura 2. Ondas sonoras geradas para a formação de batidas binaurais inaudíveis (8Hz e 16 Hz)



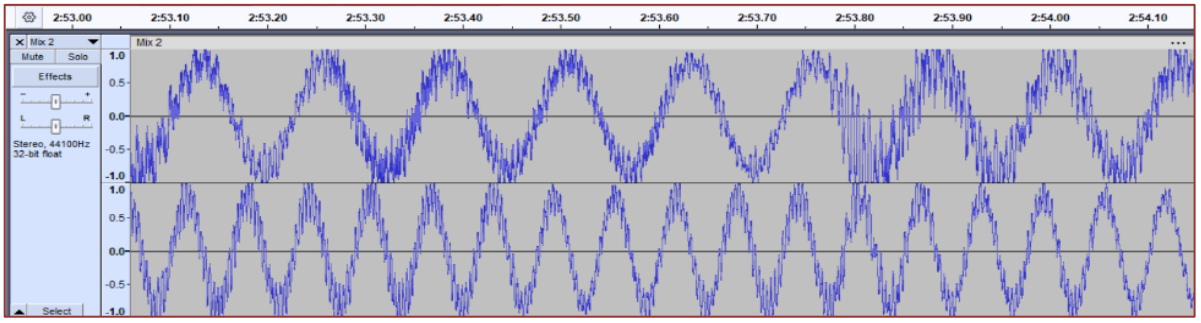
Pode-se verificar que, se fizer a diferença entre as ondas sonoras da Figura 1 elas se mostrariam fora de fase em alguns pontos, onde se forma a batida binaural, percebida pelo cérebro. Foi realizada a mixagem de cada uma das ondas com uma música, o resultado no domínio do tempo pode ser observado na Figura 3 para as frequências de 436Hz e 444Hz e na Figura 4 para as frequências de 8Hz e 16Hz.

Figura 3. Ondas sonoras geradas por batidas binaurais (436Hz e 444 Hz) mixadas com música



Fonte: Os autores.

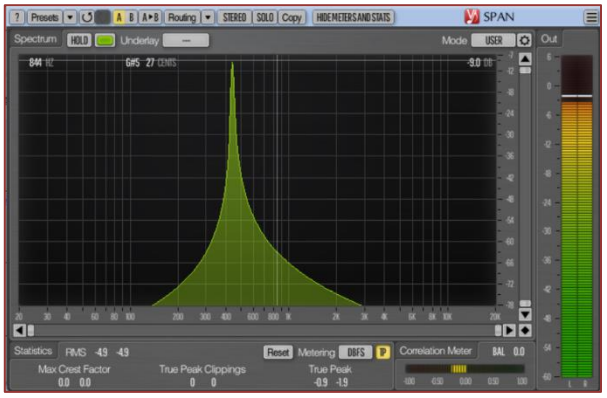
Figura 4. Ondas sonoras geradas por batidas binaurais (8Hz e 16 Hz) mixadas com música



Fonte: Os autores.

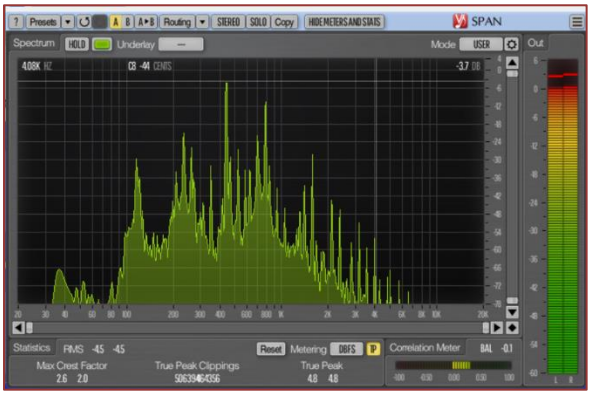
Na Figura 5 tem-se o espectro da frequência do sinal de 436Hz audível e na Figura 6 o espectro da frequência do sinal de 436Hz audível mesclado com música clássica instrumental relaxante.

Figura 5. Espectro da frequência do sinal de 436Hz audível



Fonte: Os autores.

Figura 6. Espectro da frequência do sinal de 436Hz audível mesclado com música



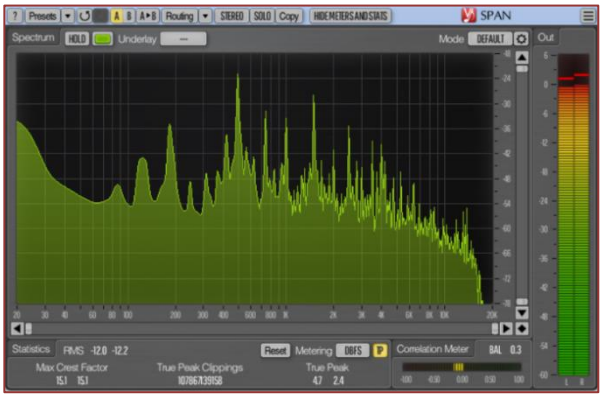
Fonte: Os autores.

Na Figura 7, tem-se o espectro da frequência do sinal de 16Hz inaudível e na Figura 8, tem-se o espectro da frequência do sinal de 16Hz inaudível mesclado com a mesma música clássica.

Figura 7. Espectro da frequência do sinal inaudível de 16 Hz

Fonte: Os autores.

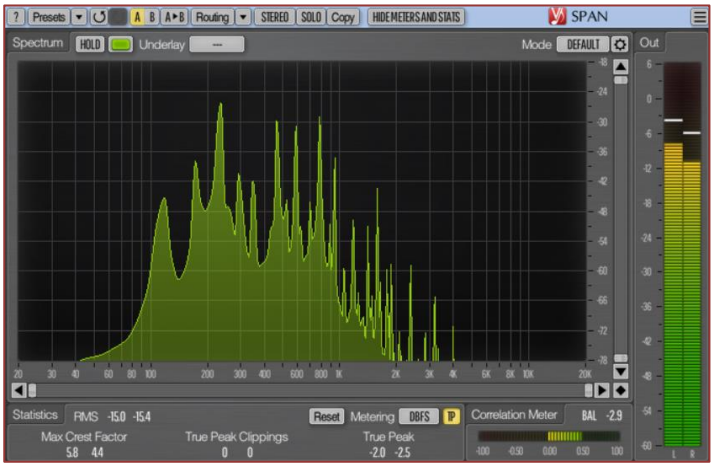
Figura 8. Espectro da frequência do sinal inaudível mesclado com música



Fonte: Os autores.

A Figura 9 mostra o espectro sonoro somente da música instrumental clássica relaxante.

Figura 9. Espectro da frequência do sinal da música clássica instrumental relaxante



Fonte: Os autores.

Ao se mesclar cada uma das ondas sonoras geradas para a formação das batidas binaurais com a música, podemos identificá-las no espectro sonoro, como mostram as Figuras 6 e 8.

4. CONCLUSÃO

A partir das imagens geradas pelo analisador de espectro SPAN, conclui-se que tanto a batida binaural audível quanto a inaudível pode ser mesclada a músicas de forma efetiva. O cérebro captará essas ondas pelo sistema auditivo. As ondas sonoras, por serem

mecânicas, não alteram diretamente a modulação das ondas cerebrais, mas podem afetar o cérebro de outras maneiras, como através de estímulos auditivos que podem ser usados em contextos terapêuticos. Mesmo a onda sonora sendo inaudível ela terá sua ação e será captada pelo sistema auditivo, chegando ao cérebro.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Iniciação Científica do Centro Universitário Internacional UNINTER, pelos recursos disponibilizados, por meio do projeto intitulado “Engenharia Biomédica Aplicada às Tecnologias em Saúde” do grupo de pesquisa “Inovação, Tecnologia e Sustentabilidade da UNINTER”.

REFERÊNCIAS

[1] Audacity. Multi-track audio editor and recorder. Disponível em: https://www.audacityteam.org/. Acesso em: 25 de maio de 2024.

[2] Huang, Tina; Charyton, Christine. A comprehensive review of the psychological effects of brainwave entrainment. Alternative therapies in health and medicine. 14. 38-50. 2008.

[3] Ramdinmawii, Esther; Mittal, Vinay. The effect of music on the human mind: A study using brainwaves and binaural beats. 2nd International Conference on Telecommunication and Networks. 1-7. doi: 10.1109/TEL-NET.2017.8343514. Noida, India, 2017.

[4] Renteria, Santiago; Molina, Geraldine; Sainz, Emilia; Serrano, Levi; Urquiza, Diana. Binaural Audio Relaxation Techniques for people with anxiety and stress. Proceedings of the 9th Conference on Interdisciplinary Musicology – CIM14. Berlin, Germany 2014.

[5] Ribas, Valdenilson; Ribas, Renata; Nóbrega, Jean. Pattern of anxiety, insecurity, fear, panic and/or phobia observed by quantitative electroencephalography (QEEG) – Recife, Brasil 2018.

[6] Voxengo. SPAN: Free real-time “fast Fourier transform” (FFT) audio frequency spectrum analyzer. Disponível em: https://www.voxengo.com/product/span/. Acesso em: 25 de maio de 2024.

Autores

AUTORES

ALINE MARA OLIVEIRA (ORGANIZADORA)

Possui graduação em Engenharia de Controle e Automação pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (2012). Pós Graduada em Gestão de Projetos (FGV 2014-5015). Ministrou aulas no Centro Universitário do Planalto de Araxá(2015-2016) e no CEFET-MG nos cursos de graduação e técnicos. Tem experiência na área de Automação Industrial, Engenharia Elétrica, atuando principalmente nos seguintes temas: redes industriais, proteção de sistemas elétricos, IEC-61850, automação, instrumentação, sistemas de controle, equacionamento de controladores, sistemas multivariáveis e teoria de controle. Trabalhou na indústria no setor de projetos industrias no período de 2007 a 2015. Mestre pela Universidade Federal de Uberlândia. (2017-2019). Atualmente doutoranda no curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia.(2019-2023)

OSVALDO SENA GUIMARÃES (ORGANIZADOR)

Graduação em Engenharia Civil pela Escola de Engenharia Kennedy (1983), Ênfase em Engenharia de Transportes EEK (1983), Análise De Sistemas - UFMG(1985), Especialização em Gestão de Projetos de Engenharia IEC/PUC (2012), Mestrado em Estratégia FEAD (2005). Professor do curso de Engenharia Civil da Universidade do Estado de Minas Gerais (2015-2017 Divinópolis). Professor na Faculdade Senac Minas. Atua na área de ensino superior desde 1988 como Professor, Coordenador de Curso, Coordenador de Extensão, Coordenador de Iniciação Científica e de Pré-incubadora de base Tecnológica. Atua na área de Engenharia, Computação e Projetos desde 1984.

ALESSANDRA BRANDANI BIGGI

Graduação na área de Engenharia Têxtil pela Universidade Estadual de Maringá (UEM) (2006). Possui Especialização na área de Docência no Ensino Superior pelo Centro Universitário de Maringá (CESUMAR) (2010). Possui mestrado em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá (2013). Possui Doutorado em Engenharia Têxtil pela Universidade do Minho (2018). É Professora Adjunta Tide na Universidade Estadual de Maringá (UEM) no curso de Engenharia Têxtil.

ANA CLARA BRAGA DA MOTTA

Possui graduação em Sistemas navais pela Faculdade de Tecnologia de Jahu (2018). Facilidade em lidar com sistemas, interessada em crescer dentro da empresa e com o desenvolvimento desta, aplicada e comunicativa, atenta em trabalhos em equipe, com metodologia, organização e criatividade, preocupada com a logística, estoque e métodos relacionados à qualidade. Conhecimentos em AutoCad, pacote Office, Project, Photoshop e plataformas de marketing digital.

ANÁLIA RIBEIRO BATISTA

Graduanda em Eng. Biomédica pela UNINTER e em Farmácia pelo Centro Universitário Brasileiro. Pesquisadora com foco em Inovações Terapêuticas e Saúde Pública.

ANDRESSA DONADIO DELBONS

Possui curso-tecnico-profissionalizante em Técnico em Química pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Química de Nilópolis(2005).

ANTONIO EDUARDO ASSIS AMORIM

Graduado em Física pela Universidade Federal de São Carlos - UFSCAR (1986), mestrado em Física pelo Instituto de Física Teórica - IFT (1990) e doutorado em Física pelo Instituto de Física Teórica/UNESP (1997). Atualmente é assessor ad hoc da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP e professor da Faculdade de Tecnologia de Jahu nível III do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza - CEETEPS. Ingressou na Fatec-JAHU em 1995, foi coordenador do projeto Veículo submersível não tripulado - VSNT Jahu II em 1999 a 2002. Tem experiência na área de Engenharia Naval e Física, com ênfase em veículos robóticos e sistemas de

AUTORES

três corpos, atuando principalmente nos seguintes temas: submersível, rov, auv, robô, veículo submersível, processamento de imagem, arquitetura de veículos e sistemas de controle. Foi diretor da Fatec-JAHU no período 2002 a 2010 e coordenador do curso de Construção Naval e Sistemas Navais - 2013 a 2014. Trabalha atualmente na área da robótica embarcada e processamento digital de imagens e eficiência energética de embarcações.

ARIENE IFANGER CASTELANI

É Graduada em Engenharia de Materiais pela Fundação Santo André (FSA). É Pós-Graduada em Gestão e Tecnologia de Projetos em Produtos, pela Faculdade de Engenharia Industrial – FEI. Tem experiência no ramo automotivo, com conhecimento em: qualidade fabril, atendimento ao clientes e desenvolvimento de projetos. Atuação em projetos de desenvolvimento e qualidade de produtos, como: Painel de instrumento, caixa de ar (HVAC), módulo elétrico de rastreamento (tracking and blocking system), chicotes, farol e lanterna. Na área de polímeros, possui experiencia em commodities e polímeros de engenharia, tando na área de novos desenvolvimentos e formulações quanto assistência técnica. Experiência na área da garantia, trabalhando com itens automotivos de interior e exterior, chassis e elétrica, com foco em melhoria nos serviços em campo visando à redução de custos e satisfação do cliente. Possui conhecimento nas ferramentas da qualidade, como FMEA, APQP, PPAP entre outros outros.

CELISE RODER

Professora na Universidade Estadual de Maringá - Campus Goioerê. Doutora e Mestre em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá (2024 - 2019), Especialista em Gestão Empresarial pela Faculdade Integrado de Campo Mourão (2014), graduada em Engenharia de Produção Agroindustrial pela Faculdade Estadual de Ciências e Letras de Campo Mourão (2011). Possui experiência em docência para os cursos de Engenharia de Produção, Engenharia Civil, Administração, Arquitetura e Urbanismo e Ciências Biológicas. Na indústria trabalhou com Gestão de Operações e Processos, Gestão Organizacional e do Trabalho e Gestão da Qualidade.

CELSO MARLEI DOS SANTOS

Doutora em Química

DANIEL ANGELO LONGHI

Professor Doutor da Universidade Federal do Paraná (UFPR), Campus Avançado de Jandaia do Sul.

DANIEL CORDOVA ROSA

Possui graduação em Administração pela Faculdade Decisão. Tem experiência na área de Administração. Cursando Pedagogia na Uniasselvi

EDERSON CICHACZEWSKI

Exerce o cargo de coordenador de cursos do Centro Universitário Internacional - UNINTER. Professor presencial e Tutor EaD com atuação nos cursos de graduação em Engenharia Biomédica, Ciência da Computação, Engenharia da Computação, Engenharia de Software, Engenharia Elétrica e Análise e Desenvolvimento e Sistemas. Atua como professor orientador de projetos de Iniciação Científica.

ELAINE DA SILVA PEREIRA REIS ROQUE

Graduanda em Eng. Biomédica pela UNINTER

AUTORES

EVANDRO TOZZI MENDONÇA

Engenheiro Naval graduado pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), com formações adicionais como Tecnólogo Naval e em Informática pela Fatec Jahu. Possui duas pós-graduações: Engenharia de Transportes pela Universidade de São Paulo (USP-São Carlos, 2000) e Engenharia Naval pela Unyleya. Atua há mais de 20 anos como professor na Fatec Jahu, onde contribui para a formação de profissionais na área naval.Desenvolve consultoria especializada em empresas do setor naval, abrangendo projetos de obras e embarcações, além de atuar como vistoriador independente. Acumulou 21 anos de experiência na Marinha do Brasil como Vistoriador e Inspetor Naval, desempenhando atividades como inspeções, perícias, certificação, análise de projetos e auditorias em sociedades classificadas e entidades especializadas credenciadas. Também atuou por dois anos como vistoriador naval no Intercontinental Bureau of Classification.Participou de importantes projetos de pesquisa, incluindo estudos sobre manobrabilidade de comboios fluviais (FINEP), determinação de gabaritos de navegação para a Hidrovia Tietê-Paraná (Ministério dos Transportes), e desenvolvimento de sistemas de ajuda à entrada de trens em eclusas, em colaboração com pesquisadores da UNESP, COPPE e IPT, com financiamento da FINEP.

FABRÍCIO MÄHLER RAMOS

Mestre em Educação na Universidade Luterana do Brasil, linha de Estudos Culturais em Educação, Graduação em Licenciatura Plena em Educação Física pela Universidade Luterana do Brasil. Licenciatura Plena em Letras Libras - UFSC polo UFRGS, Especialização : Os Estudos Culturais e os Currículos Escolar Contemporâneos - UFRGS e professor de LIBRAS com experiência na área de Educação fundamental, médio e superior de Língua Brasileira de Sinais, Cultura Surda. Professor de Libras e a Cultura Surda na IFSC - CÂMPUS PALHOÇA BILÍNGUE e coordenador do curso técnico Integrado a Comunicação Visual e Serviços e Produtos Bilíngue.

FELIPE SEGATELI IRIKAWA

Estudante de Engenharia de Produção, pela Universidade Federal do Paraná (UFPR), Campus Avançado de Jandaia do Sul.

GUSTAVO SIMAS DA SILVA

Doutorando e Mestre em Engenharia, Gestão e Mídia do Conhecimento na UFSC. Graduado em Engenharia Eletrônica pela UFSC, Técnico em Eletrônica - IFSC. Analista de Inovação no Impact Hub Brasil, linha de trabalho em Ecossistemas de Inovação e Impacto, Gestão do Conhecimento. Tem experiência na área de Ecossistemas de Inovação e Desenvolvimento Territorial, Ecologia do Conhecimento, Cultura de Aprendizagem, Engenharia e Gestão do Conhecimento, Engenharia Eletrônica e Elétrica, com ênfase em Processamento Digital de Sinais, Áudio, Robótica, Tecnologias Assistivas, Dados. Sócio-fundador da VI Mídia, produção de conteúdo de audiodescrição, audiolivros e material acessível em áudio para público print disabled.

HUGO PIMENTEL TAVARES

Graduação em Engenharia Elétrica pela Associação Educacional Dom Bosco (2011), graduação em Engenharia Civil pelo Centro Universitário ETEP (2024) e graduação em Licenciatura em Física pelo Centro Universitário ETEP (2023). Atualmente é diretor de engenharia e responsável técnico - Construtora Lecy Tavares.

JOSÉ ANTONIO GALVÃO DE BARROS CASEIRO

Possui ensino-medio-segundo-graupela Ana Franco da Rocha Brando(2022). Tem experiência na área de Engenharia Naval e Oceânica.

AUTORES

JOSÉ GLÊNIO MEDEIROS DE BARROS

Com doutorado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1999), é Professor Associado da Universidade do Estado do Rio de Janeiro já tendo sido Professor Assistente Doutor da Universidade de Taubaté por mais de 13 anos. Vem atuando a mais de 20 anos na área de Engenharia de Produção, em especial nas subáreas de Gestão de Manufatura, Controle Estatístico de Processo, Gestão da Qualidade, Produtividade e Administração da Produção. Com pesquisas e trabalhos desenvolvidos em variadas empresas e instituições, atuou, em particular, junto aos seguintes setores: indústria automobilística, indústria metal-mecânica, indústria química, indústria naval, indústria aeronáutica e universidades. É também avaliador de cursos de graduação e de instituições de ensino superior do INEP/MEC e do sistema de acreditação de cursos de graduação do MERCOSUL e Estados Associados (ARCU-SUL).Com doutorado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1999), é Professor Associado da Universidade do Estado do Rio de Janeiro já tendo sido Professor Assistente Doutor da Universidade de Taubaté por mais de 13 anos. Vem atuando a mais de 20 anos na área de Engenharia de Produção, em especial nas subáreas de Gestão de Manufatura, Controle Estatístico de Processo, Gestão da Qualidade, Produtividade e Administração da Produção. Com pesquisas e trabalhos desenvolvidos em variadas empresas e instituições, atuou, em particular, junto aos seguintes setores: indústria automobilística, indústria metal-mecânica, indústria química, indústria naval, indústria aeronáutica e universidades. É também avaliador de cursos de graduação e de instituições de ensino superior do INEP/MEC e do sistema de acreditação de cursos de graduação do MERCOSUL e Estados Associados (ARCU-SUL).vvv

JULIANA VERGA SHIRABAYASHI

Professora Doutora da Universidade Federal do Paraná (UFPR), Campus Avançado de Jandaia do Sul.

KAUÊ FERNANDES DIAS VENTRIS

Engenheiro de Produção, formado pela Universidade Federal do Paraná (UFPR), Campus Avançado de Jandaia do Sul.

KELI CRISTIANE VIDO

Sólidos conhecimentos em processos de ensino-aprendizagem, experiência na elaboração de conteúdos instrucionais, contratação e capacitação de docentes, acompanhamento de alunos com deficiência e déficit de ensino, participação na Comissão de avaliação permanente de programas de pós-graduação, ministração de aula para graduação e pós-graduação / treinamentos para brasileiros, angolanos e brasileiros, experiência na coordenação de curso. Dezesseis anos de experiência todas áreas de recursos humanos, incluindo consultoria de RH (BPO), Recrutamento e seleção (processos de headhunter), contratações nacionais / internacionais; plano de carreira e mentoria para executivos; cargos e salários / benefícios corporativos; treinamento e desenvolvimento; avaliação de desempenho; expatriados e consultoria interna e externa de rh, saúde e segurança do trabalho, liderança, administração, arquitetura empresarial e administração de TI. Mentoria para startups: elaboração de business plan, processo de criação, desenvolvimento e refinamento de soluções tecnológicas, elaboração de estratégias de mercado, auditoria de implantações e prestações de serviços e capacitação de pessoal. Vivência como docente nos cursos de bacharelado; tecnólogos e pós-graduação: Administração; Administração com enfase em comércio exterior, Ciências Contábeis; Tecnólogos em: RH, Gestão Comercial, Sistemas de Informação, Gestão Financeira, Hotelaria, Gastronomia e Marketing, Bacharelado em Sistemas da Informação, Engenharia de Produção, Engenharia de computação e software; MBA em gestão de pessoas; projetos e controladoria; Conteudista da disciplina Saúde, Segurança e Meio Ambiente / Recrutamento e Seleção; Revisora das disciplinas de gestão humano do curso de Administração;Tutora dos cursos de graduação a distância: Tecnólogo em Recursos Humanos e Administração; Orientadora de TCC dos cursos de bacharelado e tecnólogos. Elaboração de projeto pedagógico; programa de estágio; planos de ensino e ementário, além do cadastramento de curso, junto ao MEC e acompanhamento das visitas para autorização e reconhecimento; Coordenação da faculdade aberta para comunidade; gestão de projetos de extensão, balizados pelas práticas de recursos humanos; supervisão do programa de estágio; seleção de professores; criação de horário;

AUTORES

Sólida experiência na gestão de projetos voltados à comunidade, ONGs e Oscips e instituições públicas. Capacitação de docentes da secretária estadual de educação; gestão dos projetos sociais e desenvolvimento educacional nas creches Obra Koping e escolas públicas da região Oeste de São Paulo. Formada em Administração de Empresas, pós-graduação em: RH; Marketing; Didática e Metodologia do Ensino Superior; Psicopedagogia e mestrado em Psicologia; Doutora em Administração pela Universidade Presbiteriana Mackenzie. Pesquisas sobre o estresse laboral com a Universidade da Fronteira (Uruguai e UBA) e inclusão de pessoas com deficiência junto as empresas da região Oeste de São Paulo; Etarismo, envelhecimento e aposentadoria com o núcleo de diversidade da Universidade Presbiteriana Mackenzie. Participação do Centro de Tecnologia e Inovação do Centro Paula Souza como orientadora dos projetos de pesquisa do curso Tec, em logística e projeto de extensão Escritório de Carreiras. Mentora dos projetos premiados como melhores do Brasil: Empreenda SENAC 2019 (Provimento de pessoal e empoderamento feminino; EDP Empreendedorismo 2020-2021 (Energia fotovoltaica) e Santander empreendedorismo (2020) (Empreendedorismo social). Voluntariado junto a Missão Belém, Bem Comum, Kooping Brasil e Aquecendo Coração

LEANDRO JOSÉ DOS SANTOS

É Mestre em Ciência e Engenharia dos Materiais - Universidade Federal do ABC UFABC - Possui graduação em Polímeros - SENAI - Departamento Regional de São Paulo (2016) Analista de processo de Polímeros (2015), Técnico em plásticos - SENAI - Departamento Regional de São Paulo (2011). Tem experiência na área de Engenharia Química, com ênfase em Polímeros commodities e Polímeros de Engenharia, atuando principalmente nos seguintes temas: microcompósitos de wollastonita, mica, carbonato de cálcio, talco, entre outros, também possui experiência em modificação, tenacificação e mistura mecânica no estado fundido de polímeros como: polietilenos, polipropileno, PVC, poliuretano termoplástico (TPU), SBS, SEBS, PET, ABS, PC, poliamidas (PA), entre outros polímeros commodities e de engenharia, também possui experiência com elastômeros vulcanizáveis, tais como SBR, NBR, NR, Silicone e EPDM. Atua na indústria de polímeros como Analista de Processos da Qualidade e Assistência Técnica.

LIDIANE HELENA REINALDO FRANCO

Mestre em Serviço Social - PUC/SP, Pós Graduação em Libras - FACESPI. Formação Pedagógica em Letras Libras - Uniasselvi. Tradução e Interpretação em Libras no Instituto Federal de São Paulo - Especialização em Educação a Distância UNOPAR, Especialização em Aconselhamento pela Faculdade Teológica Batista de São Paulo, Intérprete de Libras - Exame Nacional de Certificação de PROLIBRAS - Proficiência para Tradução e Interpretação da Libras / Língua Portuguesa / Libras - Nível superior - MEC/UFSC, Graduada em Serviço Social - Universidade do Vale do Paraíba, atuou como docente na área do Serviço Social na UBC, docente na FATEC – Mogi das Cruzes.

LUAN SILVA GOMES DA COSTA

Universidade do Estado do Rio de Janeiro

MARCO AURÉLIO REIS DOS SANTOS

Professor Doutor da Universidade Federal do Paraná (UFPR), Campus Avançado de Jandaia do Sul.

MARIA DA GLÓRIA DINIZ DE ALMEIDA

Possui graduação em Engenharia de Produção pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (1999), mestrado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2001) e doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho" (2017). Atualmente é professora adjunto da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Tem experiência na área de Engenharia de Produção com ênfase em Planejamento e Controle da Produção, Melhoria Contínua, Produtividade Industrial e Redução de Custos.

AUTORES

MARIA RENATA MORAES

Graduação na área de Engenharia Têxtil pela Universidade Estadual de Maringá (UEM) (2003). Especialização na área de Docência no Ensino Superior pelo Centro Universitário de Maringá (CESUMAR) (2008). Mestrado em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá (2013). Doutorado em Engenharia Têxtil pela Universidade do Minho (2017) com revalidação do diploma estrangeiro de Doutorado (2018) pela Universidade Estadual de Maringá na área de Doutorado em Engenharia Química. É Professora Adjunto Tide na Universidade Estadual de Maringá (UEM) no curso de Engenharia Têxtil. Chefe do Departamento de Engenharia Têxtil da Universidade Estadual de Maringá (Gestão 2022-2024 e 2024-2026). Lider do grupo de Pesquisa no Cnpq "Indústria Têxtil 5.0"

MARIANA NASCIMENTO TALIER

Possui ensino-medio-segundo-graupelo OBJETIVO JAU(2019).

NICKOLAS MAIA FARIA

Possui graduação em Engenharia Mecânica pelo Centro Universitário de Volta Redonda(2014). Atualmente é Técnico de Desenvolvimento II da Companhia Siderúrgica Nacional. Tem experiência na área de Engenharia Mecânica.

NILO ANTONIO DE SOUZA SAMPAIO

Possui graduação em Engenharia Química pela Escola de Engenharia de Lorena EEL-USP (1994), mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade de Taubaté UNITAU (2005), doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho UNESP (2011). Atualmente é Professor Associado da Universidade do Estado do Rio de Janeiro atuando na graduação dos cursos de Engenharia, no Mestrado em Engenharia Ambiental (PEAMB) e no Doutorado em Engenharia Ambiental (DEAMB). Tem experiência na área de Matemática e Estatística, com ênfase em Aplicações da Estatística e da Matemática em Ciências, Modelamento Matemático, Otimização e Planejamento de Experimentos, Estatística Multivariada, Monitoramento de Processos e Inteligência Artificial.

PATRÍCIA FRIEDRICH LIMA

Graduanda em Eng. Biomédica e em Bacharelado em Matemática pela UNINTER, pesquisadora com foco em Ciências da Vida.

RAFAEL GERMANO DAL MOLIN FILHO

Professor Doutor da Universidade Federal do Paraná (UFPR), Campus Avançado de Jandaia do Sul.

SÉRGIO LUKINE

Possui Mestrado e Graduação em Engenharia Naval e Oceânica pela Universidade de São Paulo . Atualmente é Professor de Ensino Superior, da Faculdade de Tecnologia de Jahu - São Paulo (Centro Paula Souza), onde ministra aulas nos Cursos de Construção Naval e Sistemas Navais e desenvolve Projeto de Jornada sobre gerenciamento de embarcações militares. Tem vários trabalhos desenvolvidos na região norte(Rio Amazonas, Madeira e região dos estreitos da Ilha de Marajó) e região sul(Lagoa dos Patos) com Comboios Fluviais.Professor Visitante da EPUSP - Escola Politécnica da USP no Curso de Engenharia Naval e Oceânica, no período de 1990 a 1995.Professor Visitante na UEA - Universidade do Estado do Amazonas, no Curso de Tecnologia em Construção Naval, no período de 2010 a 2013 em Novo Airão/AM, e, em 2015, nos municípios de Itacoatiara /AM e Tefé/AM.

SILVIO PEREIRA NETO

AUTORES

Bolsista do PET Saneamento Ambiental atuante na área de Drenagem Urbana

VANIA RIBAS ULBRICHT

Licenciada em Matemática, com mestrado e doutorado em Engenharia de Produção pela UFSC. Foi professora visitante da Universidade Federal do Paraná no Programa de Pós-Graduação em Design (2012 - 2014). Foi Pesquisadora da Université Paris 1 (Panthéon-Sorbonne). Presta serviço voluntário no PPEGC da UFSC. Foi bolsista em Produtividade e Desenvolvimento Tecnológico e Extensão Inovadora de 2009 a 2013, DT/CNPq. Coordenadora do projeto: Mídias, Tecnologias e Recursos de Linguagem para um ambiente de aprendizagem acessível aos surdos, aprovado pelo CNPq através da CHAMADA N 84/2013 MCTI-SECIS/CNPq- TECNOLOGIA ASSISTIVA / B - Núcleos Emergentes Foi bolsista do CNPq na modalidade DTI-

www.poisson.com.br
contato@poisson.com.br

@editorapoisson

https://www.facebook.com/editorapoisson